Jahrbuch des elektrischen Fernmeldewesens

herausgegeben von

Dipl.-Ing. **Helmut Bornemann**
Staatssekretär im Bundesministerium
für das Post- und Fernmeldewesen

Achtzehnter Jahrgang
1967

Verlag für Wissenschaft und Leben Georg Heidecker
Bad Windsheim
1967

Alle Rechte, auch die des auszugsweisen
Nachdrucks, der photomechanischen Wiedergabe
und der Übersetzung vorbehalten.

Copyright 1967 by

Verlag für Wissenschaft und Leben
Georg Heidecker
Bad Windsheim

I.—XI. Jahrgang herausgegeben von
Staatssekretär a. D. Prof. Dr. rer. nat. Dr.-Ing. E. h. Dipl.-Ing.
Friedrich Gladenbeck

XII.—XIV. Jahrgang herausgegeben von
Staatssekretär a. D. Prof. Dr.-Ing. E. h. Dipl.-Ing.
Karl Herz

Druck: Universitätsbuchdruckerei Junge & Sohn, Erlangen
Klischees: Döss GmbH, Nürnberg; Einband: Zucker & Co. AG, Erlangen

Inhaltsübersicht

Seite

Zum Geleit
Bundesminister Dr. Werner Dollinger 7

Vorwort
Staatssekretär Dipl.-Ing. Helmut Bornemann . . . 8

Peripherer Datenverkehr in modernen Datenverarbeitungsanlagen von Prof. Dr. rer. nat. Karl Ganzhorn und Dr.-Ing. Wolfgang Walter, IBM Deutschland 9

Die Anwendung der Datenverarbeitungstechnik im Fernmeldebau von Oberpostdirektor Dipl.-Ing. Walter Bath 87

Probleme der Analyse und Synthese von Sprache durch Automaten von Oberpostrat Dr. rer. nat. Werner Endres 132

Überblick über den Stand der heutigen Farbfernsehtechnik von Dipl.-Ing. Fritz Jaeschke, Fernmeldetechnisches Zentralamt 191

Die internationalen Bemühungen um eine europäische Farbfernsehnorm
von Oberpostdirektor Dr. phil. Johannes Müller . . 224

Die Anfänge der kommerziellen Nutzung von Fernmeldesatelliten von Oberpostdirektor Dipl.-Ing. Ernst Dietrich . . 253

Typisierung und Normung von Ortsvermittlungsstellen von Oberpostdirektor Dr.-Ing. Arwed Hoyer 297

Aufbau und Technik des Fernsprechnetzes der Deutschen Bundesbahn (BASA-Netz)
von Bundesbahndirektor Dipl.-Ing. Herbert Gruber . 340

Die mittlere Wartezeit auf Einrichtung von Fernsprechhauptanschlüssen in Abhängigkeit von Angebot und Nachfrage von Oberpostrat Dr.-Ing. Klaus Spindler und Oberpostrat Dr. oec. Hans Schuhmann 393

Zum Geleit

Die Fortschritte der Fernmeldetechnik stehen nicht oft im Brennpunkt öffentlichen Interesses, sondern treten im allgemeinen den Benutzern der Fernmeldeeinrichtungen nur wenig ins Bewußtsein. Durch ständige Weiterentwicklung, Betriebsverbesserung und Rationalisierung konnten aber im Fernmeldewesen der Deutschen Bundespost die wachsende Verteuerung der menschlichen Arbeitskraft und die anderen Kostenerhöhungen aufgefangen werden. Auf der Grundlage dieser erfreulichen Entwicklung ist die Fernmeldeinfrastruktur unseres Landes Jahr für Jahr verbessert worden. Tatsächlich bleibt dem einzelnen Fernsprechteilnehmer der dafür maßgebende technische Fortschritt verborgen: Neue Mehrfachkoaxialkabel, Richtfunksysteme immer größerer Kapazität, Vielkanal-Trägerfrequenzsysteme oder elektronische Vermittlungssysteme bekommt er in der Regel nicht zu Gesicht. Das Aussehen des Telephons ändert sich nur im Abstand von Jahrzehnten. Seltene Ausnahmen, wie das spektakuläre Ereignis des Startes von Nachrichten-Satelliten und die damit verbundene Errichtung gewaltiger Erdefunkstellen, bestätigen nur die Regel.

Das Jahr 1967 bringt jedoch für die Bundesrepublik wieder ein Ereignis in der Nachrichtentechnik, das die gesamte Bevölkerung unseres Landes stark berühren dürfte, die Einführung des Farbfernsehens. Daß es sich dabei nicht etwa nur um die Aufnahme einer neuen Fertigung in der Empfängerindustrie handelt, sondern daß diesem Zeitpunkt 12 Jahre internationaler Bemühungen um eine europäische Farbfernsehnorm vorausgingen, wird in diesem Fernmeldejahrbuch gezeigt. Die verschiedenen Verfahren der Farbfernseh-Übertragung — NTSC, PAL, SECAM —, die jahrelang nicht nur unter Fachleuten leidenschaftlich diskutiert wurden, sind sachlich in Arbeitsweise und Eigenschaften nebeneinander gestellt. Dabei kann man mit Befriedigung feststellen, daß das in unserem Lande entwickelte PAL-System die besten Übertragungseigenschaften zeigt und in großen Teilen Europas übernommen wird. Ich freue mich, daß das Fernmeldejahrbuch 1967 diesen entscheidenden Schritt der Nachrichtentechnik ausführlich behandelt. Mögen die Aufsätze aus dem Funkwesen zusammen mit den anderen behandelten Themen aus der Datenverarbeitung und aus dem Hochbau dazu beitragen, daß die großen Leistungen des deutschen Fernmeldewesens in der Öffentlichkeit entsprechend gewürdigt werden!

Vorwort

Die im vorigen Jahrgang in den Vordergrund gestellte elektronische Datenverarbeitung und ihre Anwendung im Fernmeldewesen bieten so viele interessante Aspekte, daß ihnen auch im vorliegenden Buch Raum gewährt werden mußte. Der Kreis der Themen aus dem letzten Jahr wird zunächst ergänzt durch einen aktuellen Übersichtsaufsatz über den peripheren Datenverkehr in modernen Datenverarbeitungsanlagen. Dabei wird mit der Behandlung der peripheren Datengeräte der Übergang zwischen den Zentraleinheiten und den Benutzern besonders beleuchtet, was gerade für die Deutsche Bundespost interessant ist. Den praktischen Einsatz der Datenverarbeitungstechnik im Fernmeldebauwesen für Statistiken, Arbeitspläne, Leistungsnachweise, Kostenberechnungen und Netzplanungen schildert der zweite Aufsatz. Einen Blick in die Forschung gewährt die anschließende Arbeit über die Analyse und Synthese von Sprache durch Automaten, die auch für das kommerzielle Fernmeldewesen einmal praktische Konsequenzen haben kann.

Das Fernmeldejahrbuch 1967 wäre unvollständig ohne die Behandlung des Farbfernsehens, das in diesem Jahr in der Bundesrepublik eingeführt wird. Nach einem Überblick über den Stand der heutigen Farbfernsehtechnik (NTSC, PAL, SECAM) werden in einer historischen Rückschau die vielfältigen und schwierigen Bemühungen um eine europäische Farbfernsehnorm aufgezeigt. Auch der dritte Aufsatz aus dem Funkgebiet, der sich mit dem praktischen Fernmeldebetrieb über Nachrichtensatelliten befaßt, geht u. a. auf die Farbfernseh-Übertragung ein. Die Bedeutung weltweiter Zusammenarbeit wird in diesen Aufsätzen wieder recht deutlich.

Die in den Bänden 1962 und 1963 begonnene Berichterstattung über den Entwurf normierter Typengebäude im Fernmeldewesen der Deutschen Bundespost wird fortgesetzt durch einen Aufsatz, der die Fertigbauweise für Ortsvermittlungsstellen behandelt. Der Jahrgang 1965 schilderte mit einem Übersichtsaufsatz über das moderne Flugsicherungs-Nachrichtennetz eines der großen Sondernetze, die neben dem öffentlichen Fernmeldewesen der Verkehrssicherung dienen; im vorliegenden Band wird nun das BASA-Netz der Deutschen Bundesbahn als weiteres großes Sondernetz behandelt.

Die Tatsache, daß beantragte Fernsprechanschlüsse in bedauerlich vielen Fällen nicht in kurzer Frist hergestellt werden können, hat zu Untersuchungen und Erhebungen geführt, die im letzten Aufsatz dargestellt sind und Einblick in die quantitativen Verhältnisse geben.

Aus der Vielfältigkeit der technischen Entwicklung läßt sich in jedem Jahr nur eine Auswahl bieten, doch hoffe ich, daß die in diesem Jahrgang behandelten Themen nach technischem Interesse und wirtschaftlicher Bedeutung wieder den Erwartungen der Leser gerecht werden.

Bornemann

Karl Ganzhorn und Wolfgang Walter

Peripherer Datenverkehr in modernen Datenverarbeitungsanlagen

I. Einleitung
  1. Die Prinzipien der Datenverarbeitung
  2. Vom Spezialrechner zum Universalsystem
  3. Übergeordnete Programmiersprachen und Betriebssysteme
II. Systemorganisation und Betriebssysteme
III. Zentralsystem mit peripherem Kanalkonzept
  1. Kanalstruktur
  2. Kanalprogramm
IV. Periphere Datengeräte
  1. Ein/Ausgabegeräte
    a) Lochkarten- und Lochstreifengeräte
    b) Belegleser
    c) Drucker
  2. Ein/Ausgabegeräte für die Datenfernverarbeitung
    a) Geräte für Übertragungsgeschwindigkeiten bis maximal 200 Bit/s
    b) Geräte für hohe Übertragungsgeschwindigkeiten
  3. Ein/Ausgabegeräte für die Prozeßdatenverarbeitung
    a) Signal-Eingabe
    b) Analog-Digital-Umsetzer, Digital-Analog-Umsetzer
    c) Signal-Ausgabe
  4. Direktverbindung Mensch — Maschine
    a) Datenstationen
    b) Optische Verbindungen
    c) Akustische Verbindungen
  5. Externe Speicher
    a) Magnetbandspeicher
    b) Magnettrommelspeicher
    c) Magnetplattenspeicher
    d) Kassettenspeicher
    e) Organisation von externen Großraumspeichern
V. Schrifttum

I. Einleitung

1. Die Prinzipien der Datenverarbeitung

Die Wurzeln der Datenverarbeitung reichen weit zurück [1]. Ihre Entwicklung vollzog sich in relativ wenigen, markanten Schritten, die jeweils durch neue geistig-logische Erkenntnisse geprägt waren. Dazwischen lagen oft lange Perioden begrifflicher Stagnation. Wie oft in der naturwissenschaftlich-technischen Evolution wurden wesentliche Fortschritte vielfach dann erzielt, wenn „die Zeit dafür reif war“. Im Verlauf der Entwicklungsgeschichte kann man dabei immer wieder feststellen, daß es insbesondere drei Faktoren waren, welche bei gleichzeitigem Auftreten den Fortschritt bewirkten. Diese Einflüsse bestanden auf der einen Seite in der analytischen Durchleuchtung logischer Zusammenhänge, auf der anderen in der synthetischen Fähigkeit, analytisches Wissen in konstruktive technische Prinzipien umzuwandeln. Schließlich war darüber hinaus noch erforderlich, daß geeignete technische — und auch wirtschaftliche — Mittel vorhanden waren, um zusammen mit den beiden erstgenannten Einflüssen eine neue Phase der Technik auszulösen. Die Datenverarbeitung lieferte mehrfach den Beweis dafür, daß nur bei gleichzeitigem Auftreten aller drei Faktoren wirklich Neuland erobert werden konnte. Das markanteste Beispiel tritt in der Konzeption John v. Neumanns zutage, auf Grund derer die Datenverarbeitung nach dem 2. Weltkrieg ihren großen, die Struktur der industrialisierten Gesellschaft verändernden Aufschwung nehmen konnte. In dieser zusammenfassenden Konzeption wurde das eine Rechenmaschine steuernde Programm mit der Möglichkeit verbunden, es als Information in schnell zugänglichen Speichermedien zu speichern. Damit wurde der Maschine erstmalig die Möglichkeit gegeben, Datenverarbeitung auch auf ihr eigenes Programm anzuwenden. Diese Kombination zusammen mit neuen elektronischen Techniken für große, schnell zugängliche Speicherkapazitäten und hohe Schaltgeschwindigkeiten konnte zunächst dem wissenschaftlichen Rechnen neue Dimensionen erschließen. Bald jedoch wurde das Prinzip des als Information gespeicherten Programms auch in die kommerzielle Datenverarbeitung übernommen und hat dort nicht nur ermöglicht, riesige Datenmengen in kurzer Zeit zu verarbeiten, sondern hat auch bereits einen Siegeszug in Richtung auf integrierte Informationssysteme angetreten.

2. Vom Spezialrechner zum Universalsystem

In der Frühzeit der elektronischen Rechenmaschinen lag das Schwergewicht bei wissenschaftlichen Aufgaben. Dort galt es, mathematische Verfahren mit oft hohem Rechenaufwand durchzuführen, wobei die Ein- und Ausgabe der Daten eine relativ untergeordnete Rolle spielte und ihre Geschwindigkeit nicht leistungsbestimmend war. Neben dieser Spezialanwendung für wissenschaftliche Berechnungen ist später eine Reihe weiterer Rechen- und Datenverarbeitungsanlagen für besonders gelagerte Anwendungsgebiete entwickelt worden wie z. B. Prozeßrechner, Anlagen für elektronische Reservierungssysteme, Flugsicherungs- und Luftwarnsysteme. Nicht zuletzt sind in diesem Zusammenhang auch die für Astronautik und Weltraumforschung entwickelten Rechengeräte zu erwähnen, die mit ihren besonderen Aufgaben und Bedingungen immer wieder eine Herausforderung an die technologische Weiterentwicklung darstellten. Trotz dieser vielfältigen Spezialprojekte hat sich in den Jahren nach 1960 ein dominierender Trend in Richtung auf universelle Rechen- und Datenverarbeitungsanlagen eingestellt. Es ging dabei nicht nur darum, leistungsfähige Großsysteme für vielfältige und verschiedenartige Aufgaben zu konzipieren, sondern ihre Struktur und ihren inneren Aufbau hinreichend allgemeingültig zu standardisieren. Dem Anwender sollte damit die Möglichkeit gegeben werden, einzelne Maschineneinheiten eines Gesamtsystems durch leistungsfähigere zu ersetzen, ohne die bereits vorhandenen Programme ändern zu müssen. Außerdem sollten diese Anlagen imstande sein, Aufgaben sowohl aus dem wissenschaftlichen als insbesondere auch aus dem kommerziellen Bereich hinreichend optimal zu bearbeiten.

Dies führte zur Entwicklung von Systemfamilien, welche alle in mehr oder weniger ausgeprägter Weise durch zwei Züge charakterisiert werden können: Einmal wird angestrebt, eine einheitliche Programmiersprache für eine ganze Familie zu schaffen, so daß es möglich ist, von einem Datenverarbeitungssystem zum anderen innerhalb der Familie überzuwechseln, ohne die Programme wesentlich ändern zu müssen. Zum anderen sollten struktureller Aufbau und Maschinenorganisation so gestaltet sein, daß Anschluß und Austausch von Ein/Ausgabegeräten (E/A-Geräten) nur über standardisierte Kanäle erfolgen, so daß die Zentraleinheiten die speziellen technischen Gegebenheiten der Ein/Ausgabegeräte nicht zu berücksichtigen brauchen. Diese als „Kanalkonzept“ bekannt gewordene Systemarchitektur hat sich seit einiger Zeit allgemein durchzusetzen begonnen und bietet dem Benutzer eine zuvor nicht gekannte Flexibilität in der Ausstattung der Systeme. Die als „Standard Interface“ bezeichneten Anschlußbedingungen an die Ein/Ausgabekanäle wurden in zweckmäßiger Weise für universelle Anwendungen genormt. Falls sie eingehalten werden, besteht sogar die Möglichkeit, innerhalb eines Systems Geräte verschiedener Hersteller zusammenarbeiten zu lassen.

3. Übergeordnete Programmiersprachen und Betriebssysteme

Während mit der Entwicklung von Systemfamilien Technik und Systemarchitektur zu einer ersten relativen Abrundung gelangten, rückte ein anderer Problemkreis rasch in den Vordergrund, nämlich die Programmierung dieser Systeme. Von zwei Seiten her wurde der Wunsch nach einer umfassenden Programmierungsentwicklung immer dringlicher: Mit steigender Leistung der Systeme drängte sich immer mehr der Gedanke auf, die Anwendungen in leicht erlernbaren „problemorientierten“ Programmiersprachen zu programmieren und der Maschine die Übersetzung solcher Programme in die eigentliche, schwerer erlernbare Maschinensprache zu überlassen. Darüber hinaus wurde es mit steigender Komplexität der Systeme immer schwieriger, Programme und Bedienung so zu gestalten, daß diese Systeme nicht zu einem wesentlichen Teil ihrer Arbeitszeit infolge Programmwechsels oder durch menschliche Bedienung in den Wartezustand versetzt sind. Um dies zu verhindern, wurden Haushaltprogramme (Betriebssysteme) entwickelt, welche weitgehend selbständig sowohl den Arbeitsablauf als auch die Bereitstellung von Programmen und Speicherkapazität handhaben. Im heutigen Zeitpunkt konzentriert sich ein wesentlicher Teil der gesamten Entwicklungsanstrengung für Datenverarbeitungsanlagen auf diese problemorientierten Programmiersprachen und deren Übersetzung sowie auf die Gestaltung optimaler Betriebssysteme. Solange die zu erledigenden Aufgaben der Systeme in der Reihenfolge ihres Eintreffens bearbeitet werden konnten, war dies eine relativ einfache Aufgabe, bei der es nur darauf ankam, Haushalt- und Arbeitsvorgänge in einer vernünftigen Relation zu halten. Sobald jedoch einzelne Arbeiten entweder innerhalb vorgegebener zeitlicher Fristen erledigt werden sollten oder deren Resultate zu vorbestimmten Zeitpunkten ausgegeben werden mußten, entstanden ganz neue, erschwerende Forderungen an die Betriebssysteme. Es mußten Möglichkeiten geschaffen werden, nicht nur um laufende Programme zu unterbrechen, sondern auch um Prioritäten verschiedener Unterbrechungsarten festzulegen. Die damit zusammenhängenden Probleme begannen, einen stimulierenden Einfluß auf die Weiterentwicklung der Warteschlangentheorie zu nehmen, die sich noch heute im Fluß befindet. Weitergehende Probleme in der Gestaltung der Betriebssysteme türmten sich auf, als man daranging, Time-Sharing-Systeme zu entwerfen. Darunter versteht man Systeme, bei denen viele Benutzer in scheinbarer Gleichzeitigkeit Zugriff zu einem leistungsfähigen elektronischen Datenverarbeitungssystem haben. In Wirklichkeit erhält jeder Benutzer im zeitlichen Multiplexverfahren in rascher Folge einzelne Zeitabschnitte zur Benutzung der Anlage zugeteilt. Die Anlage arbeitet quasi „laufend“ immer wieder für ihn. Dazu mußten nicht nur bestimmte Unterbrechungsprozeduren entwickelt werden, sondern es konnte nunmehr den einzelnen Benutzern nicht mehr überlassen bleiben, in welcher Weise der zur Verfügung stehende Speicherraum belegt werden durfte. Automatische Adressenzuteilung und -verwaltung mußten in die Betriebssysteme mit aufgenommen werden.

Eine weitere Aufgabe für die Betriebssysteme entstand durch die Forderung nach höchster Betriebssicherheit spezieller Datenverarbeitungssysteme. Sie ist nur dadurch zu erzielen, daß Zentraleinheiten und Speichergeräte mindestens doppelt vorhanden sind („polymorphe“ Systeme) und automatisch von einem Gerät auf das andere umgeschaltet wird, falls eins der Geräte ausfällt. Laufende Überwachung auf Betriebsfähigkeit der einzelnen Einheiten und automatische Umschaltprozeduren waren die nächste Stufe der Erweiterung von Betriebssystemen. Als man diesen Grad der Automatisierung erreicht hatte, lag es nahe, noch einen weiteren Schritt zu tun, nämlich ständig mehrere Zentraleinheiten und Speichergeräte verfügbar zu haben und die Arbeiten zweckmäßig zwischen diesen verschiedenen Einheiten aufzuteilen, d. h., lastverteilende Systeme zu konzipieren. Die Entwicklung der Systemarchitektur und der dazugehörigen Betriebssysteme bis zu diesem Niveau ist nicht frei von Enttäuschungen und Rückschlägen geblieben. Eine unvorhergesehene Schwierigkeit bestand darin, daß der Zeitbedarf für den ständigen Ablauf hochautomatisierter Betriebssysteme nicht nur sehr schlecht vorausgesagt werden konnte, sondern oft erheblich unterschätzt wurde. Ein anderes Problem bei lastverteilenden Systemen bestand darin, eine vorausschauende Programmanalyse einerseits und die Prioritätsregelung für Unterbrechungsfolgen andererseits in ein logisch klares Konzept zu bringen. Die volle Spannweite der heutigen Systemarchitektur entfaltet sich, wenn man diese Forderungen noch mit dem Wunsch kombiniert, daß ein Betriebssystem automatisch Rücksicht auf etwa ausfallende einzelne Einheiten der Anlage nimmt und selbständig eine „Rekonfiguration“ des Systems veranlaßt. Bei Störungen in einzelnen Geräten reduziert sich damit nur noch die Leistung, nicht aber die Zuverlässigkeit des Gesamtsystems.

Die logische Strukturierung von Betriebssystemen, die alle genannten Forderungen zu erfüllen vermögen, kommt schon sehr nahe an das heran, was man „selbstorganisierende Systeme“ nennen könnte. Es scheint jedoch, daß im gegenwärtigen Zeitpunkt die Entwicklung hier zu stagnieren beginnt, weil die beiden zu Beginn dieses Kapitels erwähnten fortschrittsbestimmenden Bedingungen nicht mehr erfüllt sind, nämlich einerseits die analytische Durchleuchtung logischer Zusammenhänge und andererseits die synthetische Schau, welche die analytische Erkenntnis in konstruktive Prinzipien umsetzt. Es läßt sich heute auch nicht übersehen, ob die genannten Probleme für selbstorganisierende Systeme mit den Methoden gelöst werden können, welche in adaptiven und lernenden Systemen angewandt werden. Die damit verbundenen Ungewißheiten über Zeitbedarf und Richtigkeit des eingeschlagenen Weges werden adaptiven Methoden nur begrenzte Anwendungsmöglichkeiten im Rahmen großer Betriebssysteme ermöglichen.

Die Technik der Datenverarbeitungsanlagen hat einen hohen und abgerundeten Stand erreicht, ohne jedoch bereits an prinzipiellen technologischen oder physikalischen Grenzen angelangt zu sein. Die geschaffenen Möglichkeiten stellen heute allerdings eine Herausforderung an die adäquate Entwicklung einer Logik der Programmierung und an eine systematische Strukturierung und Komposition von Programmierungssprachen und Betriebssystemen dar.

Während in der Anfangszeit der Rechenmaschinenentwicklung das Schwergewicht des Interesses auf die Entwicklung leistungsfähiger Zentraleinheiten konzentriert war, wurde mit dem Übergang zu Systemfamilien mit automatischen Betriebssystemen deutlich, daß die effektive Leistung eines Systems immer mehr durch den peripheren Datenverkehr begrenzt wird. Dieser erstreckt sich nicht nur auf einfache Ein- und Ausgabe von Daten, sondern besteht wesentlich in automatischer Datenerfassung, Umspeicherung und Verteilung. Dazu gehört insbesondere auch das Umschlagen großer Datenmengen und Programme zwischen externen, oft hierarchisch gruppierten Großraumspeichern und den Hauptspeichern, welche ihrerseits mit hoher Geschwindigkeit Zentraleinheiten beliefern. Technik und Aufbau von Zentraleinheiten haben heute Lehrbuchreife erlangt und stellen ein festgefügtes Wissen dar. Dagegen ist die Strukturierung des Datenverkehrs in externen Speichern, Ein/Ausgabe- und Erfassungsgeräten noch voll im Fluß und bildet eines der Hauptentwicklungsgebiete der Gegenwart.

II. Systemorganisation und Betriebssysteme

Der Stand der Entwicklung von Datenverarbeitungssystemen ist heute keineswegs einheitlich abgerundet. Am weitesten fortgeschritten ist zur Zeit die Entwicklung der elektrischen Schaltkreistechnik für die Zentraleinheit einer Datenverarbeitungsanlage. An die Stelle dis kreter Bauelemente wie Transistoren, Dioden, Widerstände oder Kondensatoren sind ganze Funktionsgruppen getreten, die auf einem einzigen Halbleiterplättchen eine Vielzahl von Schaltelementen enthalten. Diese integrierte Schaltkreistechnik erlaubt enorm hohe Packungsdichten und Schaltzeiten, die den Nanosekunden-Bereich bereits unterschritten haben. Die Schreib-Lesegeschwindigkeit der vornehmlich noch mechanisch arbeitenden Ein/Ausgabegeräte hingegen läßt sich nicht in gleichem Maße vergrößern. Ähnliches gilt auch für die Speicherentwicklung. Dort wird möglichst große Speicherkapazität bei möglichst kurzen Zugriffszeiten und minimalem Kostenaufwand angestrebt. Diese Forderungen sind jedoch kontradiktorisch; denn mit wachsender Speichergröße steigen auch Zugriffszeit und Kosten. Um diese sich immer mehr vergrößernde Fehlanpassung zwischen der zentralen Datenverarbeitungsgeschwindigkeit und der Ein/Ausgabegeschwindigkeit der peripheren Geräte zu eliminieren, mußte das Konzept des „klassischen“ Rechenautomaten von Ch. Babbage [1] mit seiner seriellen Arbeitsweise und der Aufteilung in Eingabewerk, Rechenwerk, Speicher, Leitwerk und Ausgabewerk erweitert werden. Moderne Datenverarbeitungsanlagen weisen eine Aufteilung in verschiedene, parallel und autonom arbeitende Anlagenteile und eine Systemarchitektur mit hierarchischen Prinzipien auf. Bild 1 zeigt ein Prinzipschaltbild. Um die Zentraleinheit, bestehend aus Rechenwerk, Hauptspeicher (Primär-

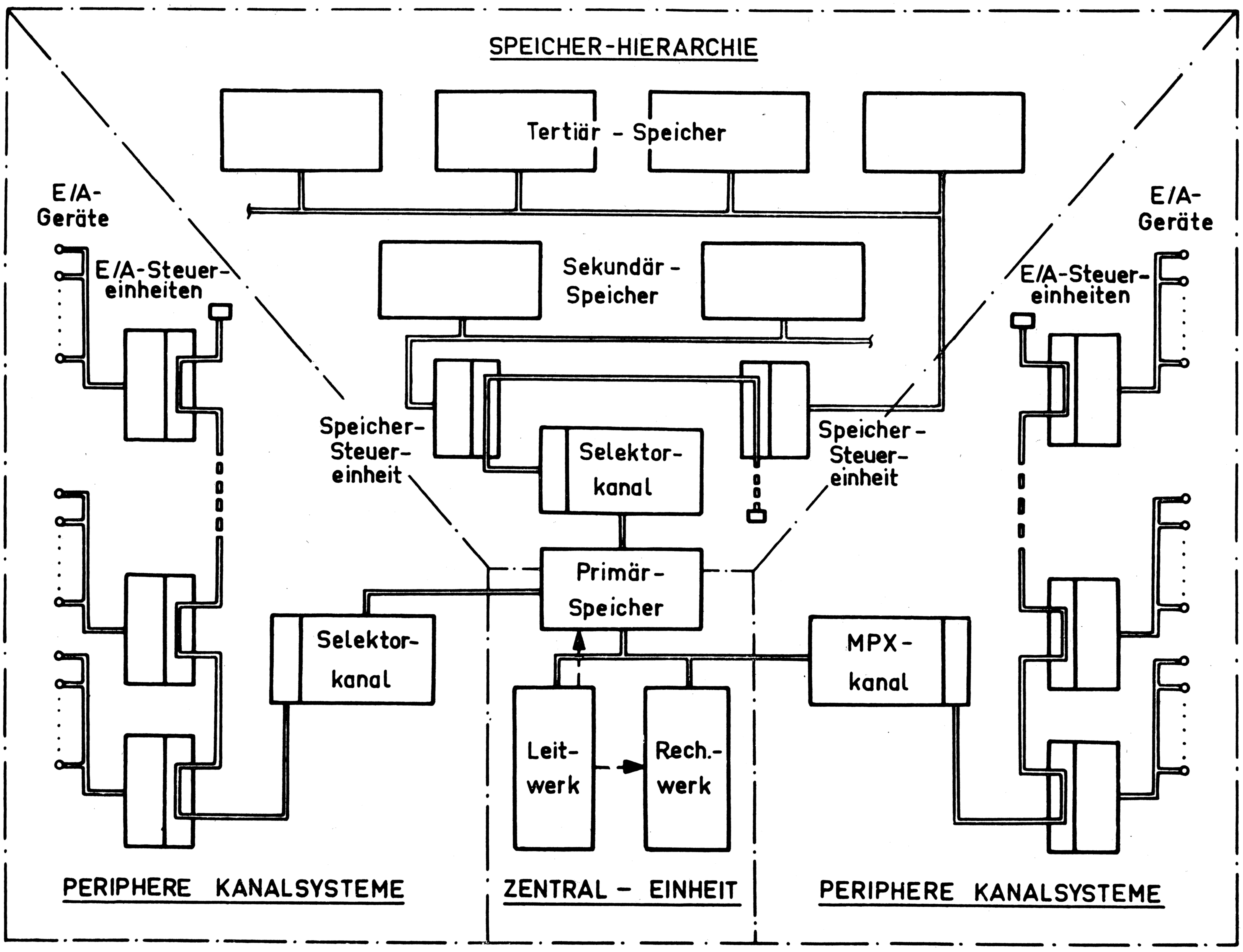

SPEICHER-HIERARCHIE
Tertiär - Speicher
E/A-Geräte
E/A-Steuereinheiten
Sekundär-Speicher
E/A-Geräte
E/A-Steuereinheiten
Speicher-Steuereinheit
Selektorkanal
Speicher-Steuereinheit
Primär-Speicher
Selektorkanal
MPX-kanal
Leitwerk
Rech.-werk
PERIPHERE KANALSYSTEME
ZENTRAL - EINHEIT
PERIPHERE KANALSYSTEME

Bild 1. Systemarchitektur mit hierarchischen Prinzipien speicher) und Leitwerk, gruppieren sich externe Speicher und Ein/Ausgabegeräte mit den dazugehörigen Datenkanälen in beliebigen Kombinationen. Hervorstechendste Merkmale dieser Systemarchitektur sind:

- Eine Zentraleinheit, die einer „Familie“ von leistungsmäßig gestaffelten, miteinander kompatiblen Zentraleinheiten angehört,
- einheitliche Programmierung der Systeme, weitgehend unabhängig von der jeweils verwendeten Zentraleinheit,
- das Konzept standardisierter peripherer Kanalsysteme,
- eine Speicherhierarchie,
- ein automatisches Betriebssystem.

Hauptziel dieser Systemstruktur ist, durch Variationen hinsichtlich Verarbeitung, Informationsfluß, Speicherung und Steuerung des Betriebsablaufes einen möglichst umfassenden Leistungsbereich zu überstreichen. Verbunden hiermit ist eine einheitliche Programmierung und eine Programmkompatibilität nach den größeren Modellen hin. Die Zentraleinheiten der einzelnen Modelle, die Rechenwerk, Leitwerk und Hauptspeicher enthalten, unterscheiden sich hinsichtlich Verarbeitungsgeschwindigkeit und -technik, Speicherkapazität und Anzahl der anschließbaren Datenkanäle [2].

Datenkanäle sind, vom logischen Konzept her gesehen, unabhängige Einheiten, die ein aus Kanalbefehlen bestehendes Datenübertragungsprogramm autonom ausführen, wenn die Zentraleinheit sie hierzu aufruft. Physikalisch betrachtet enthalten Kanäle außer Einrichtungen zur Datenübertragung eigene Register, Pufferspeicher und Leitwerke zur Übertragungssteuerung. Das Lesen und Schreiben von Daten an der Peripherie des Systems vollzieht sich weitgehend unter der Kontrolle von Steuereinheiten. Standardverbindungen zwischen Kanal und den Gerätesteuerungen sind so ausgelegt, daß es für den Kanal ohne Bedeutung ist, ob eine Karteneinheit, ein Drucker oder ein Magnetbandspeicher angeschlossen ist. Sie werden von der zentralen Steuerung mit den gleichen elementaren Befehlen wie „Lesen“ oder „Schreiben“ angesprochen.

Das Konzept hierarchisch gegliederter Speicher sieht eine Staffelung hinsichtlich ihrer Zugriffsarten und Zugriffszeiten in Primärspeicher, Sekundärspeicher, Tertiärspeicher usw. vor (Bild 1). Speicher mit direktem Zugriff wie Magnetkernspeicher werden wegen ihrer extrem kurzen Zugriffszeiten durchweg als Primär- bzw. Hauptspeicher verwendet. Demgegenüber nimmt man bei Trommel-, Platten-, Kassetten- oder Bandspeichern mit ihrem wahlweisen bzw. seriellen Zugriff eine genau begrenzte Zugriffszeit in Kauf, um die Forderung nach hoher Kapazität zu erfüllen, und setzt sie dementsprechend als Sekundär- oder Tertiärspeicher ein.

Voraussetzung für ein einwandfreies Zusammenwirken aller Anlagenteile ist jedoch ein automatisches Betriebssystem. Bei einer derartigen komplexen Betriebsweise und Verschachtelung vieler Arbeitsabläufe, Unterprogramme und Prüfroutinen wären unzulässig hohe Tot- und Wartezeiten bei manueller Ablaufsteuerung unvermeidlich.

Drei Hauptaufgaben lassen sich für ein automatisches Betriebssystem, im angelsächsischen Sprachgebrauch als „Operating System“ bezeichnet, definieren:

1. Die Steuerung des Informationsflusses einschließlich der Programme von und nach den externen Speichern und Ein/Ausgabegeräten.
2. Die Steuerung des Aufgabenflusses in und aus der Anlage.
3. Die Überwachung der einzelnen Arbeits- und Programmschritte während der Ausführung eines Programms bezüglich Prioritäts- und Unterbrechungsregeln [3].

Jeder Bestand aus Programm- oder Verarbeitungsdaten enthält, gleichgültig, wo er im System gespeichert ist, an seinem Anfang einen Kontrollsatz, der seinen Namen und seine Organisationsform angibt. Unter diesem Namen ist er zusammen mit seinem Speicherplatz im System in einem „Systemkatalog“ aufgeführt. Das Betriebssystem hält diesen Katalog immer auf dem neuesten Stand und sorgt für eine rechtzeitige Bereitstellung und Umspeicherung von Daten und Programmen zur Verarbeitung. Bei Bedarf läßt es neue Daten und zusätzliche Programme über Eingabeeinheiten in das System einfließen.

Jede Aufgabe eines Datenverarbeitungssystems läßt sich durch bestimmte Symbole und Abkürzungen eindeutig definieren. Sie ist ferner gekennzeichnet durch die zur Ausführung notwendigen Daten und Programme sowie Prioritätsangaben oder Bedingungen, unter welchen sie begonnen, verändert oder abgebrochen werden soll. Vom Benutzer können nun unter Kontrolle des Betriebssystems verschiedene Steuerungen des Aufgabenflusses gewählt werden:

A) Eine Aufgabe wird nach der anderen ohne Eingriff des Bedienungspersonals in vorgegebener Reihenfolge in Angriff genommen und ausgeführt.

B) Eine Reihe von Aufgaben wird entsprechend ihrer Priorität erledigt. Neu hinzukommende Aufgaben höherer Priorität werden vorgezogen (Vorrangsteuerung). Eingabe- und Ausgabeoperationen sowie zentrale Operationen verschiedener Aufgaben können sich überlappen.

C) Es werden mehrere Aufgaben gleichzeitig ausgeführt (Multiprogramming). Diese Form der Aufgabensteuerung wird hauptsächlich bei großen Systemen angewendet, um alle Anlagenteile möglichst optimal ausnutzen zu können.

Voraussetzung für insbesondere die letzte Art der Aufgabensteuerung ist eine automatisierte und flexible Programmbibliotheksorganisation, ein baukastenförmiger Aufbau der Programme und eine dynamische Speicherzuordnung (dynamic allocation and relocation). Je nach Bedarf muß ein Programmteil niedrigerer Priorität kurzfristig gegen ein Programm höherer Priorität im Arbeitsspeicher ausgetauscht und nach Benutzung auf andere inzwischen frei gewordene Speicherplätze wieder verteilt werden können, falls der frei verfügbare Speicherplatz im Arbeitsspeicher nicht ausreichen sollte.

Während der Ausführung eines Maschinenprogramms überwacht und steuert das Betriebssystem dessen logischen und folgerichtigen Ablauf einschließlich eventueller Unterbrechungen und Korrekturmaßnahmen. Nach Beendigung wird das nächste in Bereitschaft stehende Maschinenprogramm aufgerufen oder das Ergebnis einem darauf wartenden Programmteil oder Ausgabegerät mitgeteilt.

Unter der Kontrolle des Betriebssystems erfolgt letztlich auch die Übersetzung problemorientierter Benutzersprachen wie FORTRAN, COBOL oder ALGOL in Maschinenprogramme. Diese bilden zusammen mit den Dienstprogrammen (Sortier-, Misch- oder Ein/Ausgabeprogramme) und sonstigen häufig gebrauchten Programmroutinen die Programmbibliothek eines Unternehmens. Aus dieser Bibliothek wird selbständig immer das Programm herausgegriffen, das für die gestellte Aufgabe gerade benötigt wird.

Das Steuerungszentrum eines Betriebssystems ist der „Supervisor", der sich ständig im Hauptspeicher befindet. Er ist für die übergeordnete Steuerung und Koordinierung aller Operationen verantwortlich. Seine Hauptaufgaben sind die Steuerungen folgender Abläufe:

Bereitstellung und Zuordnung von Speicherplätzen für Daten und Programme,
bedarfsabhängiges Laden und Umspeichern von Programmen,
Datenein- und -ausgabe je nach Anforderung des laufenden Programms,
Steuerung und Überwachung der Programmausführung,
Fehlerdiagnostik und Programmwiederholung,
Unterrichtung des Bedienungspersonals über den Zustand des Systems und erforderliche Bedienungsmaßnahmen,
Programmübersetzung,
Dokumentation aller durchgeführten Aufgaben und aufgetretenen Ausnahmebedingungen.

Ein automatisches Betriebssystem kann somit in Analogie zum klassischen Rechenautomaten als eine Art übergeordneter Superautomat betrachtet werden [4]. Seine elementaren Operationen bestehen nicht mehr in der Ausführung einzelner Maschinenbefehle, sondern ganzer Programmteile, die vom Leitwerk des Superautomaten, dem Supervisor, zur Ausführung vorbereitet, gestartet und überwacht werden. Die einzelnen Programmteile wie Übersetzer-, Dienst-, Benutzer-, Anwendungs-, Prüf- und Diagnostikprogramme bilden das Superprogramm. Dieses kann entweder sequentiell ablaufen oder entsprechend einem bedingten Sprungbefehl in Abhängigkeit bestimmter Kriterien Programmschleifen durchfahren. An die Stelle nur eines Speichers ist eine ganze Speicherhierarchie getreten. Der Zugriff zu den einzelnen „Speicherplätzen" erfolgt über den Systemkatalog. Er gibt Auskunft über Lage, Art und Umfang der gespeicherten Informationen. Das Rechenwerk des Superautomaten kann außer dem klassischen Rechen- und Leitwerk auch alle zur Durchführung eines Algorithmus notwendigen peripheren Anlagenteile umfassen. Die Ein-

und Ausgabewerke schließlich enthalten außer den Geräten zur Datenein- und Datenausgabe noch alle notwendigen Steuereinheiten und Datenkanäle. Alle diese Forderungen in ein leistungsfähiges, logisches Gesamtkonzept zu bringen, ist Aufgabe der Entwickler von Betriebssystemen. Dazu ist nicht nur erforderlich, eine logische Vielfältigkeit für Programme als Bausteine eines Betriebssystems zu entwickeln, sondern es müssen selbst geeignete Sprachen und Algorithmen dafür neu geschaffen werden. Am Ende dieses Weges wird eine quantitative Erfaßbarkeit und Optimierung der Leistungsfähigkeit eines Betriebssystems stehen, doch ist bis dorthin noch wesentliche Forschungs- und Entwicklungsarbeit zu leisten.

III. Zentralsystem mit peripherem Kanalkonzept

In modernen Datenverarbeitungsanlagen wird die Verbindung zwischen der Zentraleinheit und den Ein/Ausgabegeräten (E/A-Geräten) bzw. Speichereinheiten an der Peripherie über Datenkanäle hergestellt [2, 5, 6]. Ein Kanal enthält außer dem Übertragungskabel und sonstigen Einrichtungen zur Datenübertragung und -prüfung eigene Kanalregister und Pufferspeicher sowie eine selbständig arbeitende Kanalsteuerung. Diese wird durch einen E/A-Befehl von der Zentraleinheit aufgerufen und führt danach die Datenübertragung mit allen Prüfungen selbständig durch. Vom logischen Konzept her gesehen ist ein Kanal eine unabhängige Einheit, die ein aus Kanalbefehlen bestehendes Kanalprogramm autonom ausführt und die zentrale Recheneinheit während dieser Zeit für andere Aufgaben freistellt. Das Lesen und Schreiben von Informationen an der Systemperipherie vollzieht sich unter der Kontrolle von Steuereinheiten. Einheitliche Anschlußverbindungen (Standard Interface) zwischen dem Kanal und den Gerätesteuerungen sind so ausgelegt, daß es für die Kanalsteuerung ohne Bedeutung ist, ob eine Karteneinheit, ein Drucker oder ein Magnetbandspeicher angeschlossen ist. Sie werden alle von der Zentraleinheit mit den gleichen elementaren E/A-Befehlen wie „Lesen" oder „Schreiben" angesprochen.

Bezüglich der Betriebsarten unterscheidet man zwei Typen von Datenkanälen, den Selektorkanal und den Multiplexkanal. Als **Selektorkanal** bezeichnet man eine Verbindung zwischen dem Hauptspeicher der Zentraleinheit und einem angeschalteten Gerät, die für die ganze Dauer der Datenübertragung (Stoßbetrieb = burst mode) bestehen bleibt (Bild 2, oben). Der Datenverkehr selbst wird in der Regel im Halbduplexbetrieb, d. h. entweder in der einen oder anderen Richtung, zeichenweise mit hoher Geschwindigkeit zwischen den Pufferspeichern im Kanal und im E/A-Gerät bzw. in der Steuereinheit durchgeführt. Der Datenaustausch zwischen Hauptspeicher und Kanalpuffer erfolgt im „Cycle-Stealing-Verfahren". Hierunter versteht man den vorrangigen Zugriff des Kanals zum Hauptspeicher für die Dauer von jeweils einem Speicherzyklus. Die Befehlsausführung in der Zentraleinheit wird hierdurch um die Zeitspanne verzögert, die zum Lesen bzw. Schreiben eines Zeichens notwendig ist. Die Zeichenadresse im Hauptspeicher, woher oder wohin ein Zeichen übertragen werden soll, entnimmt die Kanalsteuerung dem Kanalregister. Selektorkanäle verwendet man deswegen zweckmäßigerweise für den Datenverkehr mit schnellen Geräten wie Band- oder Plattenspeichern.

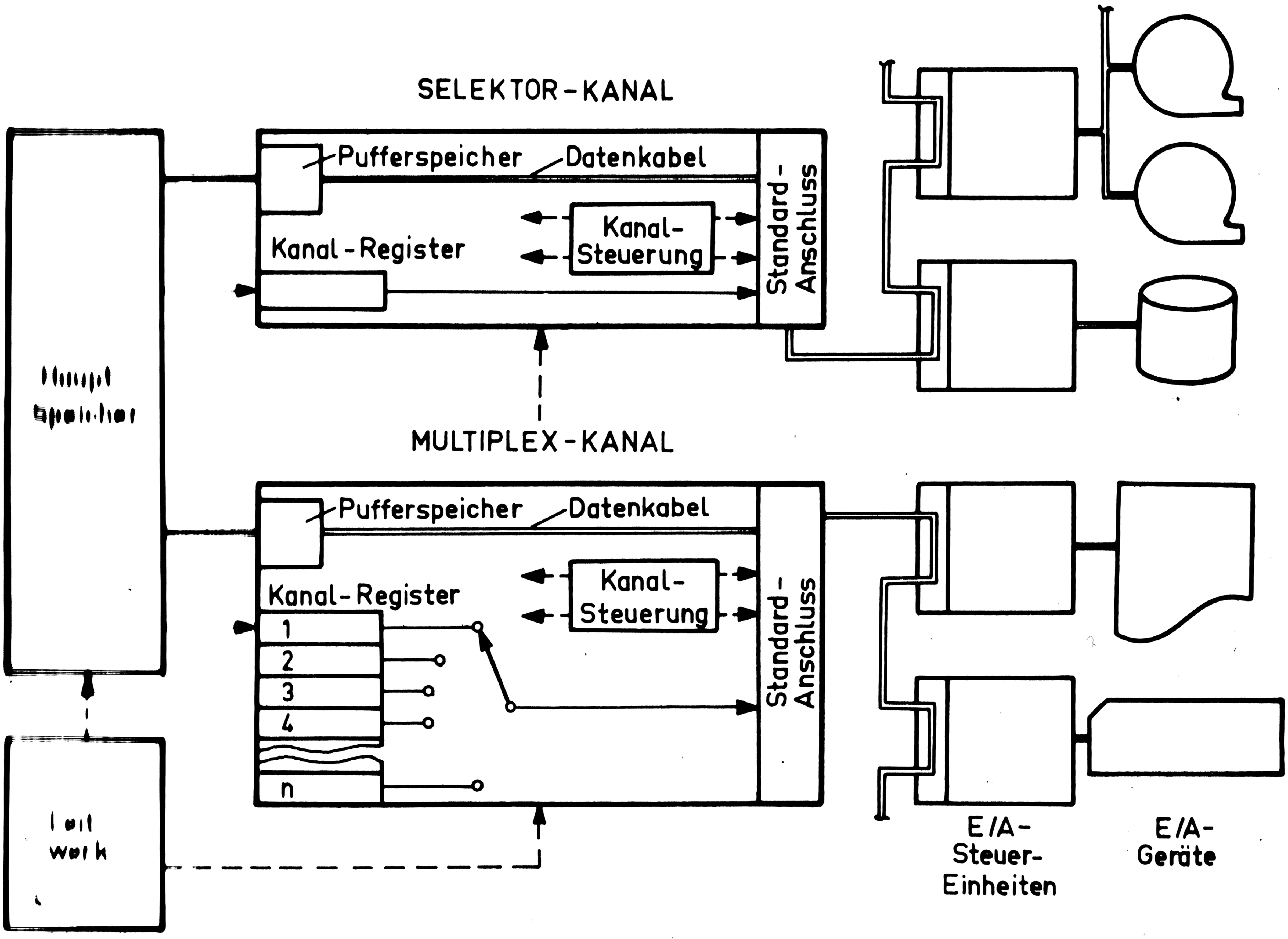

SELEKTOR-KANAL
Pufferspeicher
Datenkabel
Kanal-Register
Kanal-Steuerung
Standard-Anschluss
Haupt speicher
MULTIPLEX-KANAL
Pufferspeicher
Datenkabel
Kanal-Register
Kanal-Steuerung
1
2
3
4
n
Standard-Anschluss
Leitwerk
E/A-Steuer-Einheiten
E/A-Geräte

Bild 2. Kanalsysteme. Selektorkanal, Multiplexkanal

Multiplexkanäle dagegen werden vorzugsweise für den Datenverkehr mit langsamen E/A-Geräten wie Druckern oder Karteneinheiten eingesetzt. Für jedes E/A-Gerät ist ein eigenes Kanal-Register vorgesehen, in dem Angaben wie Zahl der zu übertragenden Zeichen, Hauptspeicheradresse, Art der Übertragungsoperation usw. enthalten sind. Der Datenverkehr wird zeitmultiplex, d. h. Zeichen für Zeichen zwischen dem Kanalpufferspeicher und einer Mehrzahl von E/A-Geräten durchgeführt. Die Übertragungsrichtung und Datenadresse im Hauptspeicher für jedes E/A-Gerät entnimmt die Kanalsteuerung dem entsprechenden Kanal-Register (Bild 2, unten). Da die Übertragungsgeschwindigkeit im Kanal wesentlich größer ist als die Schreib- oder Lesegeschwindigkeit der angeschlossenen E/A-Geräte, wirkt diese zeitmultiplexe Übertragungstechnik wie eine gleichzeitige Übertragung von bzw. zu allen E/A-Geräten. Logisch betrachtet entspricht also ein Kanal-Register nebst dem dazugehörigen E/A-Gerät einem Unterkanal, der selbständig und unabhängig von anderen Unterkanälen arbeiten kann. Während der Arbeit überprüft die Kanalsteuerung ständig alle Unterkanäle daraufhin, ob irgendwo ein Zeichen zur Übertragung bereitsteht. Ist dies der Fall, so wird das Zeichen übertragen und anschließend die Überprüfung fortgesetzt.

Auch schnelle Einheiten lassen sich an Multiplexkanäle anschließen. In diesem Fall arbeitet der Multiplexkanal im Stoßbetrieb (burst mode) wie ein Selektorkanal auf einem einzigen Unterkanal und ignoriert die übrigen Unterkanäle.

Die Kanalkonzepte der verschiedenen Hersteller sind zwar im Detail voneinander verschieden, in der Grundidee (wie autonome Arbeitsweise der einzelnen Kanäle, Unterteilung in Selektor- und Multiplexkanal oder Befehlsaufbau) jedoch einander ziemlich ähnlich. Beispielsweise läßt sich jede Ein/Ausgabeoperation durch nur vier E/A-Befehle der Zentraleinheit einleiten, nämlich START E/A, HALT E/A, TEST E/A und TEST KANAL. Jeder dieser vier E/A-Befehle enthält außer dem Operationscode, der die Befehlsart kennzeichnet, lediglich die Adresse des Kanals und des E/A-Geräts am Kanal, das den Befehl ausführen soll. Alle übrigen Angaben, die zur Befehlsausführung notwendig sind, entnimmt die Kanalsteuerung selbständig einem Kanalprogramm, das im Hauptspeicher der Zentraleinheit enthalten ist. Der Kanal ist also eine selbständige Funktionseinheit, die von der Zentraleinheit lediglich angestoßen wird und dann ein Kanalprogramm, bestehend aus einem oder mehreren Kanalbefehlen, autonom abwickelt. Die Kanalbefehle enthalten nähere Angaben zur Befehlsausführung wie

— Art der Operation, „Lesen“, „Schreiben“, „Rückwärtslesen“, „Steuern“ usw.,
— Datenadresse, d. h. Speicherplatz im Hauptspeicher, von dem oder zu dem Daten übertragen werden sollen,
— Anzahl der zu übertragenden Zeichen,
— sonstige zur Kanalsteuerung notwendige Funktionen.

Hilfssteuerfunktionen sind im Kanalbefehlswort „Steuern“ enthalten. Sie beziehen sich auf bestimmte E/A-Geräte oder Steuereinheiten und spezifizieren Funktionen wie z. B. „Band Rücksetzen“, „Suchen einer Plattenspur“ oder „Formularvorschub“.

Die Beendigung einer Operation zeigt ein Kanal der Zentraleinheit durch ein Unterbrechungssignal an. Das gerade laufende Programm wird zum nächstmöglichen Zeitpunkt unterbrochen und die eben empfangene Information beispielsweise in einem Anwendungsprogramm weiterverarbeitet.

1. Kanalstruktur

Strukturell betrachtet ist ein Kanal ähnlich aufgebaut wie ein klassischer Rechenautomat mit Eingabewerk, Speicher, Rechenwerk, Leitwerk und Ausgabewerk. Bild 3 zeigt die wichtigsten Funktionselemente eines Selektorkanals. Vom Hauptspeicher der Zentraleinheit werden Kanalbefehle und Daten zur Übertragung eingegeben. Die Daten gelangen zunächst in einen Pufferspeicher im Kanal und werden dort zur Übertragung bereitgestellt. Der Kanalbefehl für eine bestimmte E/A-Operation wird dem Kanalregister zugeleitet und dort so lange gespeichert, bis die Operation beendet ist. Die Kanalsteuerung, das Leitwerk des Kanals, erhält alle zur Durchführung der E/A-Operation notwendigen Angaben wie Operationsart oder Datenadresse aus dem Kanalregister. Sie ist bei modernen Anlagen meist in gespeicherter Mikroprogrammtechnik — induktive oder kapazitive Festwertspeicher enthalten das gesamte Kanalprogramm — ausgeführt. Auch gewisse Rechenoperationen werden im Kanal durchgeführt; denn nach jedem übertragenen Zeichen wird das Zeichenzählregister, das die in einem Datensatz zu übertragende Anzahl von Zeichen enthält, um 1 erniedrigt und das Speicheradreßregister mit der Datenadresse des Hauptspeichers um 1 erhöht. Auf diese Weise erreicht man, daß die einzelnen Zeichen eines Datensatzes in aufeinanderfolgende Plätze eines Speicherbereiches gebracht werden. Dieser Vorgang wiederholt sich so lange, bis der Zeichenzähler auf Null heruntergezählt und die Übertragung des Datensatzes beendet ist. Der Standardanschluß schließlich hat bei der Datenübertragung von der Zentrale zur Peripherie die Funktion eines Ausgabewerks zu erfüllen. Bei umgekehrter Übertragungsrichtung vertauscht sich natürlich die Eingabe mit der Ausgabe.

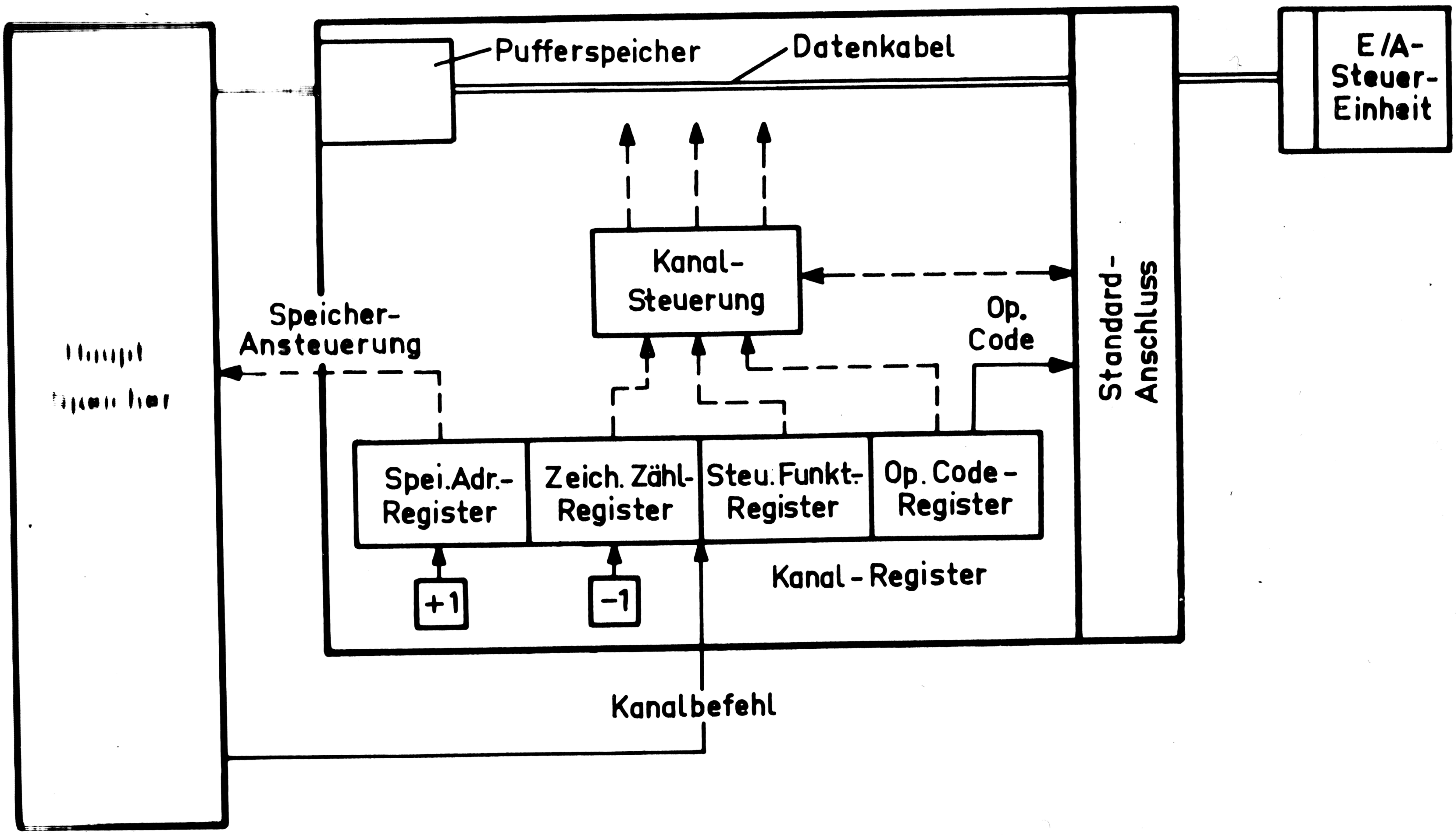

Pufferspeicher
Datenkabel
E/A-Steuer-Einheit
Haupt-speicher
Speicher-Ansteuerung
Kanal-Steuerung
Op. Code
Standard-Anschluss
Spei.Adr.-Register
Zeich. Zähl-Register
Steu.Funkt-Register
Op.Code-Register
Kanal-Register
+1
−1
Kanalbefehl

Bild 3. Struktur eines Selektorkanals

Multiplexkanäle sind ähnlich aufgebaut, nur daß für jeden Unterkanal ein eigenes Register vorhanden sein muß. Ferner ist die Kanalsteuerung, bedingt durch die ineinander verschachtelte Übertragung der einzelnen Zeichen, umfangreicher und komplizierter. Um insbesondere bei kleineren Datenverarbeitungsanlagen den technischen Aufwand für die Multiplexkanäle nicht zu groß werden zu lassen, verwendet man vielfach Register des zentralen Leitwerks auch für die Kanalsteuerung. In diesem Fall muß vor der Übertragung eines Zeichens in einem Unterkanal zunächst die gerade laufende Arbeit in der Zentraleinheit angehalten werden. Dann werden die Inhalte der benötigten Register weggespeichert, der Kanalbefehl des Unterkanals aus dem Hauptspeicher in die entsprechenden Register eingelesen und die Übertragung eines Zeichens gestartet. Nach Ende der Übertragung werden die Inhalte von Speicheradreßregister und Zeichenzählregister berichtigt und zusammen mit den übrigen Angaben des Kanalbefehls wieder weggespeichert. Dieser Vorgang wiederholt sich für jedes Zeichen und jeden Unterkanal. Obwohl das Umspeichern und Übertragen, verglichen mit der Arbeitsgeschwindigkeit der E/A-Geräte am Multiplexkanal, relativ schnell vor sich geht, wird die Arbeit der Zentraleinheit doch mehr oder weniger lang verzögert. Man muß jedoch auch hier wie überall in der Technik einen Kompromiß schließen zwischen technischem Aufwand, Kosten und Arbeitsgeschwindigkeit.

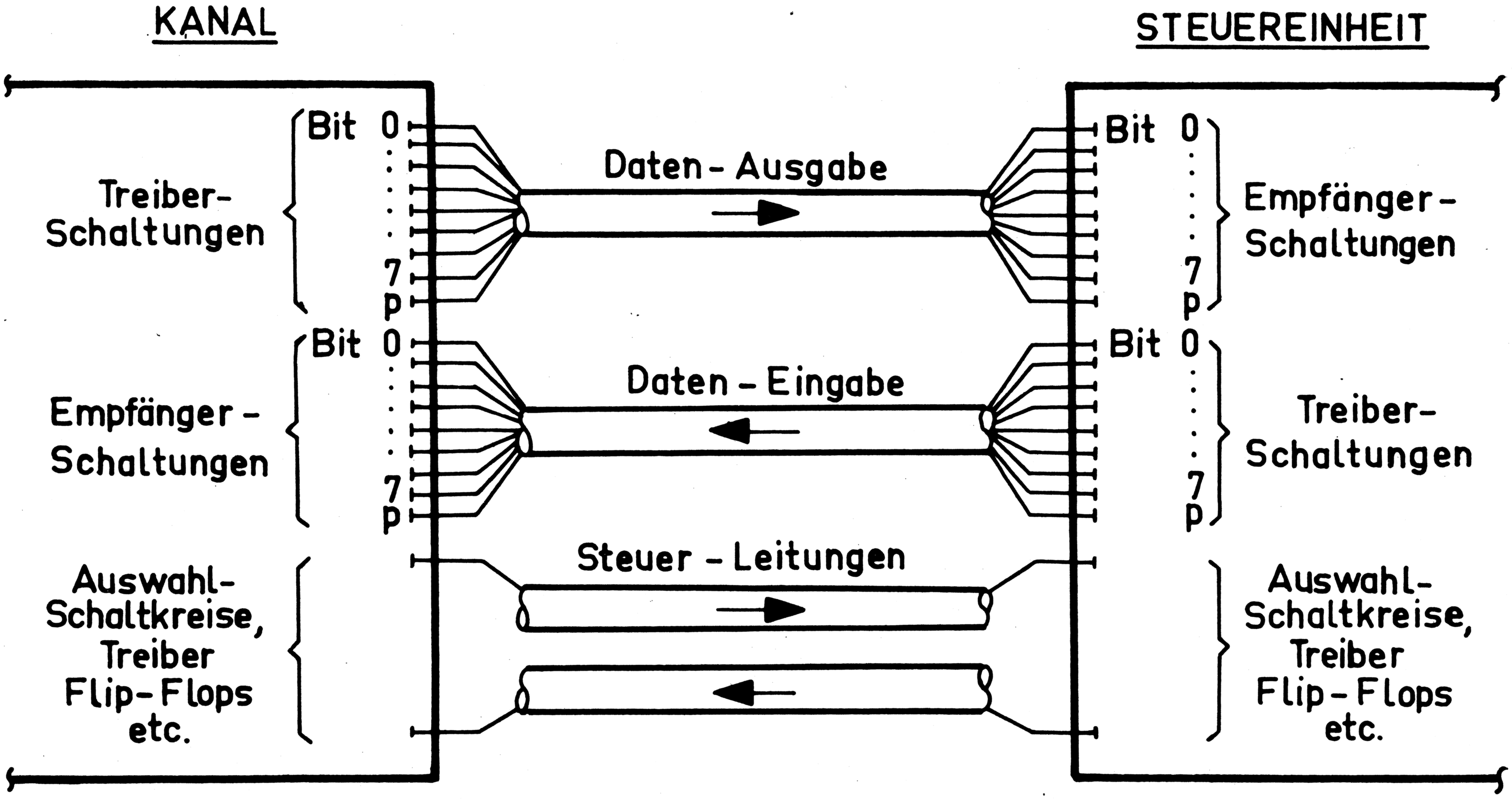

KANAL
STEUEREINHEIT
Treiber-Schaltungen
Bit 0
7
P
Daten-Ausgabe
Bit 0
7
P
Empfänger-Schaltungen
Empfänger-Schaltungen
Bit 0
7
P
Daten-Eingabe
Bit 0
7
P
Treiber-Schaltungen
Auswahl-Schaltkreise, Treiber Flip-Flops etc.
Steuer-Leitungen
Auswahl-Schaltkreise, Treiber Flip-Flops etc.

Bild 4. Standardanschluß (Standard Interface)

Der Standardanschluß, d. h. die Verbindung zwischen Kanal und Steuereinheit, ist für alle Kanäle und Modelle einer Systemfamilie datenverarbeitender Anlagen gleich. Auf diese Weise ist es möglich, jedes periphere Gerät an jede beliebige Zentraleinheit anzuschließen. Auch läßt sich unter Beibehaltung der peripheren Geräte eine Zentraleinheit einfach gegen die nächst größere austauschen. Darüber hinaus gestattet diese einheitliche Schnittstelle eine ebenso einheitliche programmierungstechnische Behandlung der unterschiedlichen E/A-Geräte. Der Standardanschluß (Bild 4) besteht im wesentlichen aus je einem 9adrigen Kabel für die Datenaus- und Dateneingabe, einer Anzahl von Steuerleitungen und den notwendigen elektronischen Schaltelementen wie Flip-Flops, Halbleiterschaltern, Kabelabschlußwiderständen usw. Die Datenübertragung erfolgt bitparallel (8 Informationsbits und ein Prüfbit) pro Zeichen. Treiberschaltungen heben die Eingangssignale auf den für die Übertragung notwendigen Spannungspegel an. Da die Entfernung zwischen Zentraleinheit und Peripherie im allgemeinen nicht sehr groß ist — meist stehen alle Geräte im gleichen

Raum — sind für die Datenein- und -ausgabe getrennte Kabel vorgesehen. Man spart hierdurch die Umschalteinrichtungen auf der Treiber- und Empfängerseite, die sonst für einen Halbduplexbetrieb auf einem einzigen Übertragungsweg notwendig wären. Ein weiterer Grund für die getrennte Datenführung liegt darin, daß auch innerhalb der Zentraleinheit der Datentransport zwischen Hauptspeicher und Kanalpuffer grundsätzlich auf getrennten Wegen verläuft. Eine Anzahl von Leitungen im Standardanschlußkabel sind für Steuerungsaufgaben, Rückmeldungen oder gegenseitige Verriegelungen vorgesehen. So erfolgt hierüber beispielsweise die Meldung an den Kanal, daß in der Steuereinheit ein Zeichen zur Übertragung bereitsteht, die Auswahl und Anschaltung der Steuereinheit auf den gemeinsamen Datenkanal, die Fertigmeldung nach fehlerfreier Datenübertragung u. a. m.

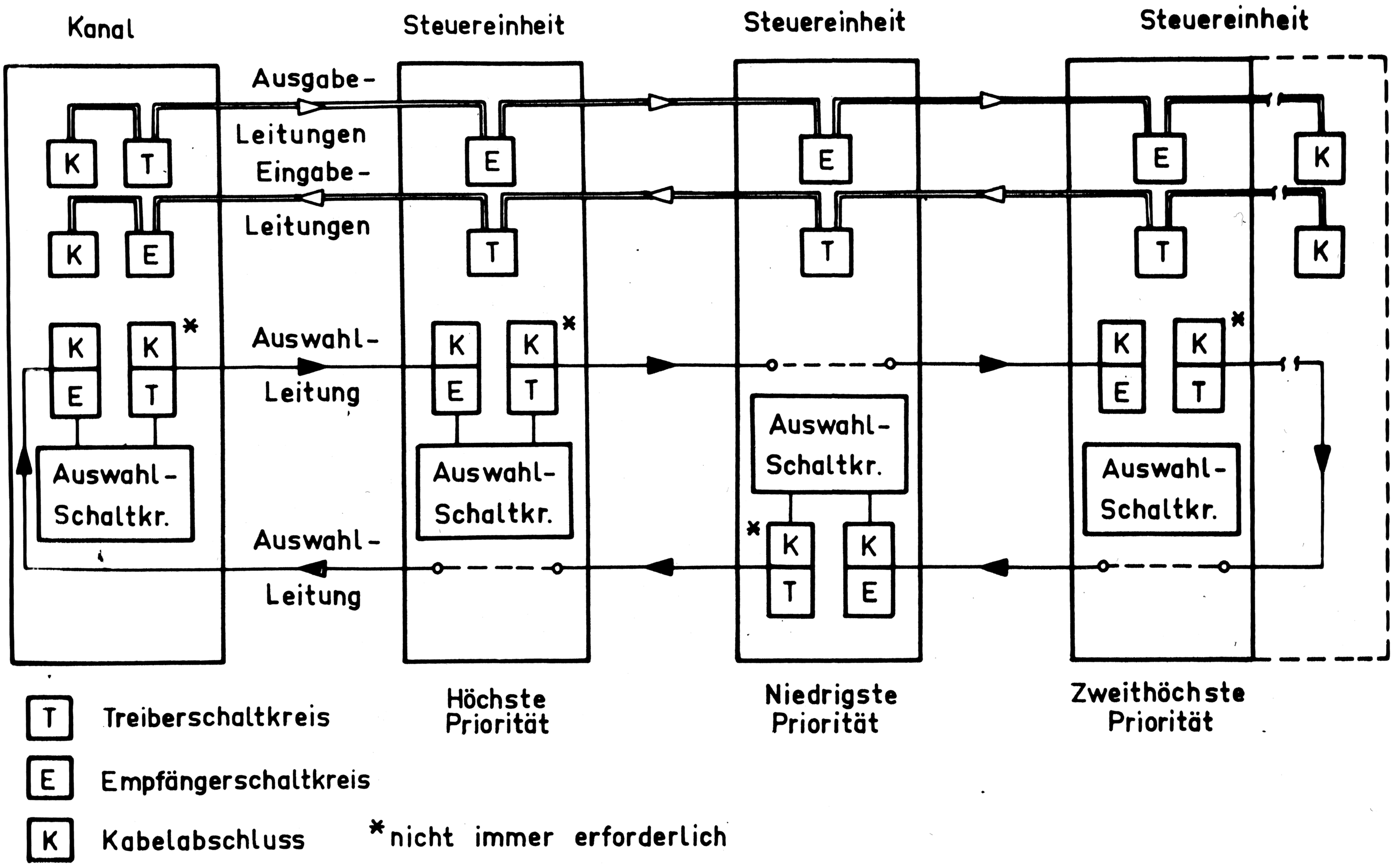

Kanal
Steuereinheit
Steuereinheit
Steuereinheit
Ausgabe-Leitungen
Eingabe-Leitungen
Auswahl-Leitung
Auswahl-Leitung
K
T
K
E
E
T
K
E
K
T
Auswahl-Schaltkr.
*
Höchste Priorität
Niedrigste Priorität
Zweithöchste Priorität
T Treiberschaltkreis
E Empfängerschaltkreis
K Kabelabschluss
*nicht immer erforderlich

Bild 5. Anschluß von Kanal und Steuereinheiten

Die Kabelführung zwischen Kanal und Steuereinheiten ist in Bild 5 dargestellt. Alle Ein- und Ausgabeleitungen des Standardanschlußkabels sind über sämtliche Steuereinheiten geschleift, so daß jedes Signal gleichzeitig in allen Einheiten verfügbar ist. Eine Ausnahme bildet lediglich das Steuersignal, welches die Auswahl einer bestimmten Steuereinheit zum Empfang oder zur Übertragung von Daten vornimmt. Das Signal passiert die Steuereinheiten entsprechend ihrer Priorität, die Steuereinheit mit der höchsten Priorität zuerst und die Steuereinheit mit der niedrigsten Priorität zuletzt. Die Prioritäten werden bereits bei der Installation des Kabels entsprechend dem voraussichtlichen Datenanfall bei den E/A-Geräten berücksichtigt. Wenn ein E/A-Gerät einen Datenaustausch mit der Zentrale vorzunehmen wünscht, so meldet dies die dazugehörige Steuereinheit über die gemeinsame Eingabesteuerleitung an die Kanalsteuerung. Diese sendet daraufhin auf der Auswahlleitung ein Signal aus, das die Auswahlschaltkreise aller angeschlossenen Steuereinheiten daraufhin überprüft, von wo die Anforderung kommt. Ist die entsprechende Steuereinheit gefunden, so wird die Auswahlleitung zu den Einheiten mit niedrigeren Prioritäten aufgetrennt und die anfordernde Steuereinheit auf den Eingabedatenkanal geschaltet. Auf diese Weise erreicht man, daß die Steuereinheit mit der höchsten Priorität auch immer zuerst bedient wird, gleichgültig, welche Steuereinheiten sonst noch Nachrichten abzusetzen wünschen.

Wenn umgekehrt der Kanal ein bestimmtes E/A-Gerät ansteuern will, so plaziert er die entsprechende E/A-Adresse auf den Ausgabedatenkanal. Diese Adresse wird von allen Steuereinheiten empfangen und decodiert. Es schaltet sich beim Erregen der Auswahlleitung jedoch nur diejenige Steuereinheit auf den Datenkanal, zu der die gesendete E/A-Adresse gehört.

Für jede E/A-Gerätegruppe wie Drucker, Lochkartengeräte, Magnetbandspeicher, Datenstationen usw. sind spezielle Steuereinheiten mit unterschiedlichen Eigenschaften erforderlich. In manchen Fällen bilden Steuereinheit und E/A-Gerät zusammen eine physische Einheit, in anderen Fällen lassen sich, wie bei den Magnetbandgeräten, mehrere E/A-Geräte an eine Steuereinheit anschließen. Immer aber ist die Steuereinheit das Verbindungsstück zwischen dem Kanal und den peripheren Geräten, das im ersten Fall nur eine, im zweiten jedoch mehrere E/A-Adressen zu bedienen hat. Da, wie bereits erwähnt, jede E/A-Adresse einem Unterkanal entspricht, behandelt auch die Kanalsteuerung jede E/A-Adresse begrifflich wie eine unabhängige Verbindung zwischen Peripherie und Kanal, obwohl sie, wie im Fall der Magnetbandgeräte, praktisch über eine gemeinsame Steuereinheit hergestellt wird.

2. Kanalprogramm

Der hierarchische Aufbau, der typisch für die Struktur moderner Datenverarbeitungsanlagen ist, wurde auch beim Funktionsablauf des peripheren Datenverkehrs angewendet. Die oberste Instanz, die Zentraleinheit, gibt in ihrem Hauptprogramm durch einen E/A-Befehl wie „START E/A" lediglich den Anstoß zu einer E/A-Operation. Alles andere überläßt sie dem Kanal, ohne sich um die weitere Ausführung zu kümmern. Der Kanal übernimmt die weitere Steuerung, holt sich das Kanalprogramm aus dem Hauptspeicher der Zentraleinheit und sorgt für dessen Durchführung. Aber auch der Kanal kümmert sich um die E/A-Operation nur insoweit, als die Datenübertragung damit verbunden ist. Den mechanischen Teil der E/A-Operation delegiert er sofort durch Übertragung des Operationscodes an die Steuereinheit bzw. das betreffende E/A-Gerät.

Das Kanalprogramm setzt sich aus einem oder mehreren Kanalbefehlen zusammen, die an beliebigen Stellen des Hauptspeichers gespeichert sein können. Die Adresse des ersten Kanalbefehls holt sich die Kanalsteuerung von einem hierfür reservierten Platz des Hauptspeichers, dem „Kanaladreßwort", in den die Adresse vor Beginn der Arbeit eingeschrieben werden muß. Man braucht somit nicht in jedem E/A-Befehl des Hauptprogramms die Adresse des ersten Kanalbefehls anzugeben und spart durch diese Maßnahme Speicherplatz. Das erste Kanalbefehlswort wird sodann in das Kanalregister eingelesen und der Befehl ausgeführt. Dabei zeigen bestimmte Zeichen im Steuerfunktionsteil des ersten Kanalbefehlswortes der Kanalsteuerung an, ob als nächstes ein weiterer Kanalbefehl ausgeführt werden soll oder ob das Kanalprogramm zu Ende ist. Im ersten Fall, der **Befehlskettung,** holt sich die Kanalsteuerung vom nächstfolgenden Speicherplatz das zweite Kanalbefehlswort und führt den hierin angegebenen Befehl aus. Im zweiten Fall beendet die Kanalsteuerung ihre Tätigkeit und gibt die Kontrolle an das Leitwerk der Zentraleinheit zurück. Die Befehlskettung hat den Vorteil, daß Kanal und Zentraleinheit nicht bei jedem Kanalbefehl miteinander in Verbindung zu treten brauchen. Mit einem einzigen Befehl des Hauptprogramms läßt sich eine beliebige Anzahl von E/A-Operationen, wie das Drucken mehrerer Zeilen oder das Lesen mehrerer Bandsätze, einleiten. Ebenso können durch Befehlskettung auch Hilfsfunktionen, wie z. B. „Rücksetzen Band", mit der Datenübertragung gekoppelt werden. Die geketteten Kanalbefehlsworte werden von der Kanalsteuerung aus aufeinanderfolgenden Hauptspeicherplätzen geholt, sofern nicht der Kanalbefehl „Verzweigen Kanalprogramm" gegeben wird. In diesem Fall verzweigt das Kanalprogramm zu der Adresse, die im Verzweigungsbefehl angegeben ist und holt sich von dort den nächsten Kanalbefehl.

Auch Datenbereiche lassen sich durch entsprechende Zeichen im Steuerfunktionsteil aneinanderketten. Man gibt beispielsweise den Befehl „Bandlesen" und definiert durch die nachfolgenden Kanalbefehlsworte verschiedene Datenbereiche im Hauptspeicher, in welche die einzelnen Sätze eines Datenblocks nacheinander eingelesen werden sollen (gestreutes Lesen). Zu bemerken ist hierbei allerdings, daß die **Datenkettung** immer nur bei ein und demselben Befehl angewendet werden kann. Das E/A-Gerät fährt mit der Ausführung des Lesebefehls fort, ohne vom Wechsel der Kanalbefehlsworte und Speicherbereiche Kenntnis zu erhalten. Die Datenkettung ermöglicht eine Umorganisation des Datenbestandes während der Übertragung zwischen Bandgerät und Hauptspeicher.

Durch bestimmte Zeichen im Steuerfunktionsteil eines Kanalbefehlswortes läßt sich schließlich die Datenübertragung bei Eingabeoperationen ganz unterdrücken. Auf diese Weise ist es z. B. möglich, von einem Datenblock immer nur diejenigen Sätze zu übernehmen, die für das augenblickliche Programm benötigt werden. Die übrigen Sätze werden nicht übertragen, sondern übersprungen.

Die Ausführung des Kanalprogramms übernimmt die Kanalsteuerung, nachdem das Leitwerk der Zentraleinheit die E/A-Operation eingeleitet hat. Dieses Zusammenspiel der einzelnen Steuerungen während des peripheren Datenverkehrs soll im Folgenden für einen Selektorkanal an Hand von Bild 6 näher erläutert werden. Kanalprogramm und Adresse des ersten Kanalbefehls seien in die entsprechenden

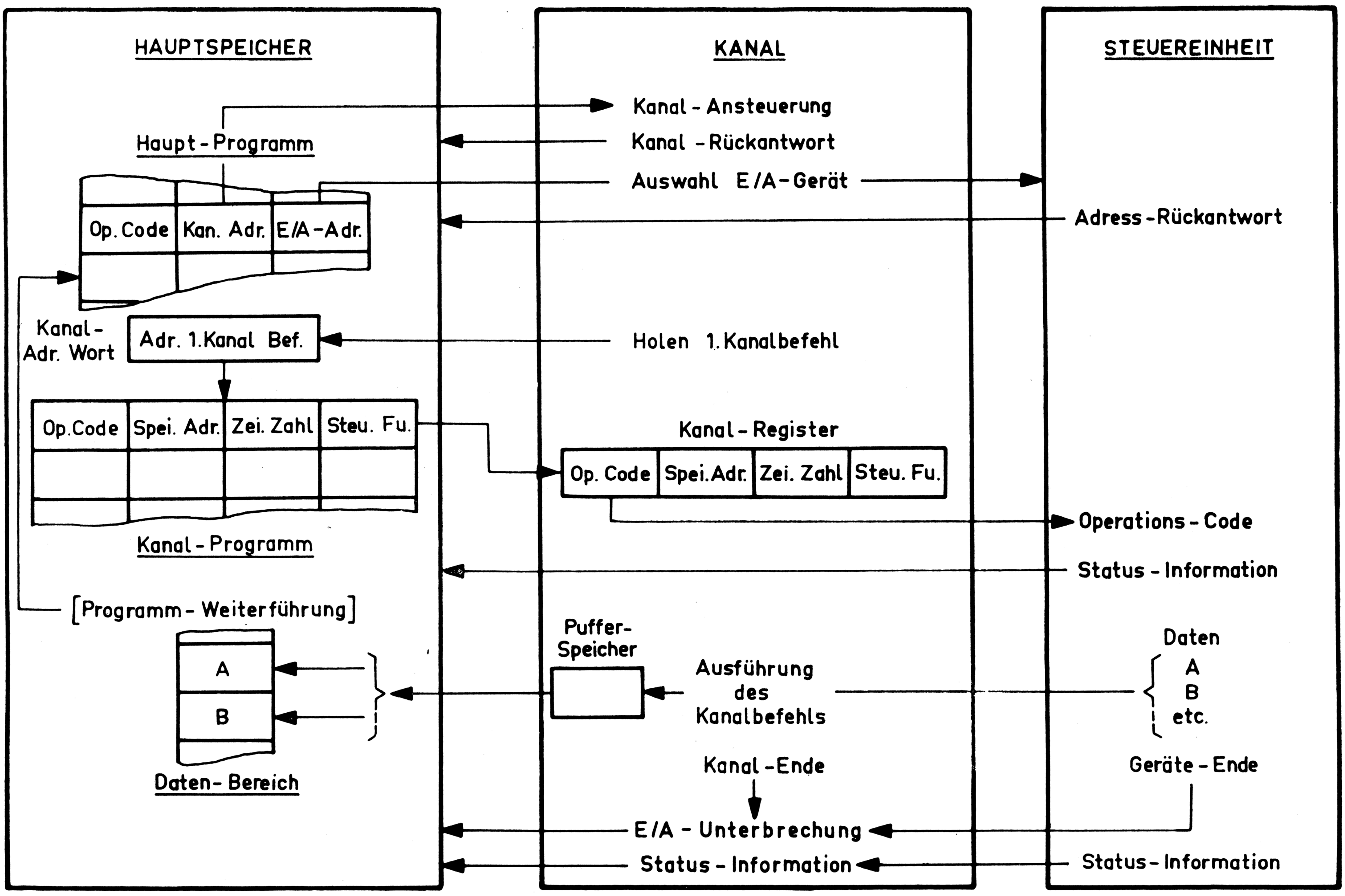

HAUPTSPEICHER
KANAL
STEUEREINHEIT
Kanal - Ansteuerung
Haupt - Programm
Kanal - Rückantwort
Auswahl E/A - Gerät
Op. Code
Kan. Adr.
E/A - Adr.
Adress - Rückantwort
Kanal - Adr. Wort
Adr. 1. Kanal Bef.
Holen 1. Kanalbefehl
Op. Code
Spei. Adr.
Zei. Zahl
Steu. Fu.
Kanal - Register
Op. Code
Spei. Adr.
Zei. Zahl
Steu. Fu.
Operations - Code
Kanal - Programm
Status - Information
[Programm - Weiterführung]
Puffer-Speicher
Daten
A
B
etc.
A
B
Ausführung des Kanalbefehls
Daten - Bereich
Kanal - Ende
Geräte - Ende
E/A - Unterbrechung
Status - Information
Status - Information

Bild 6. Programmablauf in einem Selektorkanal

Speicherplätze des Hauptspeichers geladen. Interpretiert das Leitwerk der Zentraleinheit im Zuge des Hauptprogrammablaufs auf Grund des Operationscodes einen E/A-Befehl, so wird zunächst der adressierte Kanal angesteuert und festgestellt, ob er frei und betriebsbereit ist. Ist dies der Fall, so übernimmt der Kanal die weitere Steuerung. Er plaziert die Adresse des gewünschten E/A-Geräts auf den Ausgabedatenkanal und wählt das E/A-Gerät aus. Dieses schaltet sich auf den gemeinsamen Datenkanal auf und antwortet mit der Rücksendung seiner Adresse auf dem Eingabedatenkanal. Stimmen die beiden Adressen überein, so wird als nächstes das erste Kanalbefehlswort des Kanalprogramms in das Kanalregister geholt. Die Kanalsteuerung findet dessen Adresse im Kanaladreßwort. Sodann wird der Operationscode des ersten Kanalbefehls zur Steuereinheit übertragen und somit der mechanische Teil der E/A-Operation an die Gerätesteuerung delegiert. Nachdem schließlich das angesprochene E/A-Gerät mit Statusinformationen geantwortet hat, die unter anderem über seine Betriebsbereitschaft und Verfügbarkeit Auskunft geben, ist die Einleitungsphase der E/A-Operation beendet. Das Leitwerk der Zentraleinheit setzt das Hauptprogramm fort und die Kanalsteuerung beginnt mit der Ausführungsphase des ersten Kanalbefehls, beispielsweise mit dem Lesen von Daten.

Ist das erste Zeichen vom E/A-Gerät zum Pufferspeicher im Kanal übertragen, so hält die Kanalsteuerung den Taktgeber des zentralen Leitwerks nach Beendigung des gerade laufenden Befehls an und startet einen kanaleigenen Taktgeber. Dieser führt die Übertragung des ersten Zeichens vom Pufferspeicher in den Datenbereich des

Hauptspeichers durch und gibt anschließend den Taktgeber des zentralen Leitwerks wieder frei. Nachdem schließlich noch das Zeichenzählregister um 1 erniedrigt und das Speicheradreßregister um 1 erhöht worden sind, kann die Übertragung des nächsten Zeichens beginnen. Dieser Vorgang wiederholt sich so lange, bis sämtliche Zeichen eines Datensatzes übertragen sind. Wenn Datenkettung vorgesehen ist, beginnt daraufhin die Übertragung des nächsten Datensatzes. Wenn Befehlskettung vorgesehen ist, wird das zweite Kanalbefehlswort in das Kanalregister eingelesen.

Die Beendigung einer E/A-Operation wird vom Kanal und vom E/A-Gerät angezeigt. Dies ist notwendig, weil ein Drucker beispielsweise noch mit dem Drucken der letzten Zeile beschäftigt sein kann, während die Datenübertragung im Kanal und das Herunterzählen des Zeichenzählregisters auf Null bereits beendet ist. Die Endsignale lösen eine Unterbrechung des Hauptprogramms aus, wenn keine Befehlskettung vorliegt. Das Hauptprogramm kann somit in ein anderes Programm verzweigen, das z. B. die eben empfangenen Daten verarbeitet. Im Anschluß an die E/A-Unterbrechung stellt der Kanal der Zentraleinheit schließlich noch eine Art Abschlußbericht über seine Tätigkeit in Form einer Statusinformation zur Verfügung. Hierin sind Angaben, wie etwa aufgetretene Fehler, Fehlerart, Anzahl der übertragenen Zeichen, Adresse des zuletzt verwendeten Kanalbefehls usw. enthalten, die von der Zentraleinheit analysiert und interpretiert werden können.

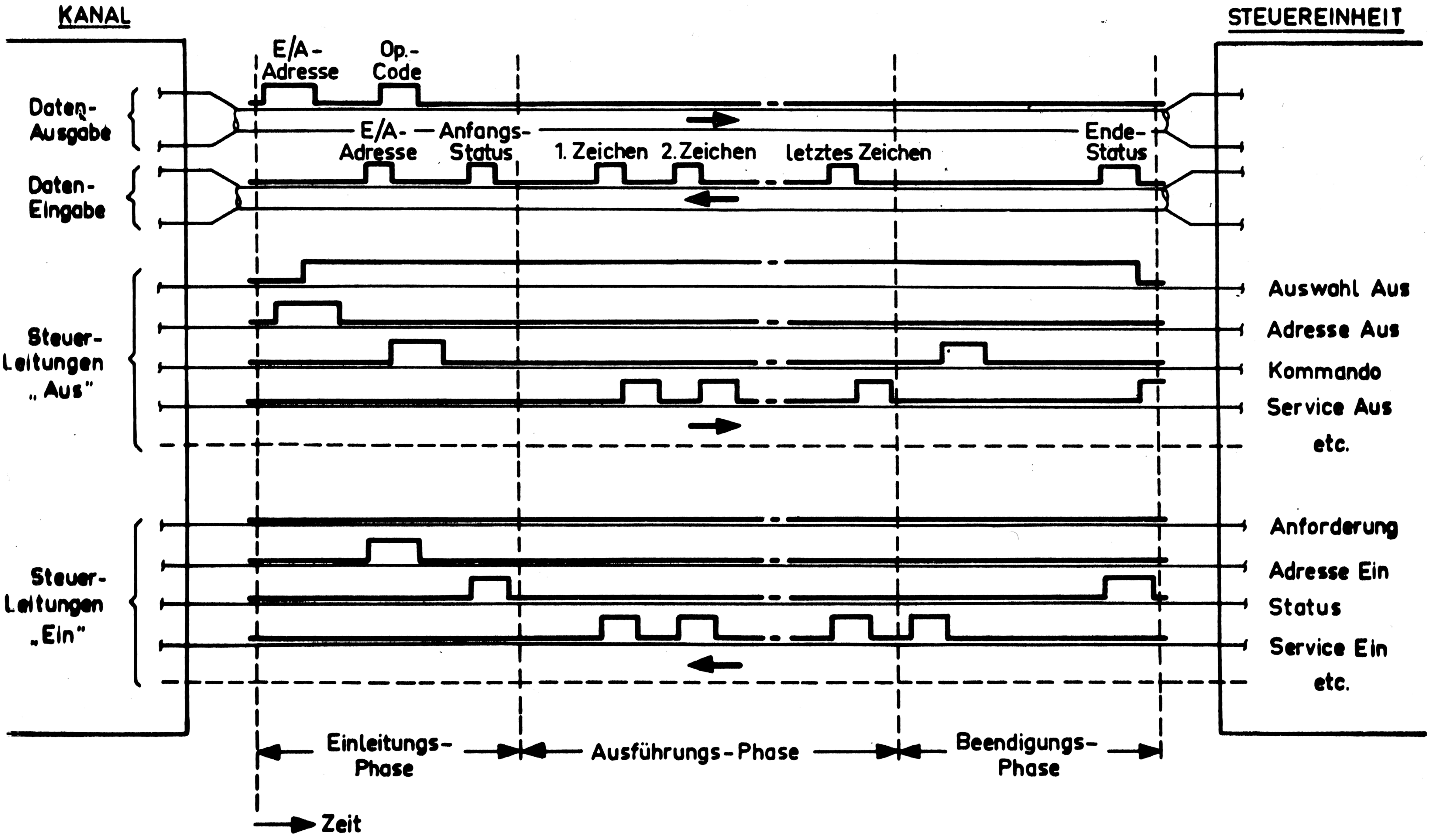

KANAL
STEUEREINHEIT
E/A-Adresse
Op.-Code
Daten-Ausgabe
E/A-Adresse
Anfangs-Status
1. Zeichen
2. Zeichen
letztes Zeichen
Ende-Status
Daten-Eingabe
Steuer-Leitungen „Aus"
Auswahl Aus
Adresse Aus
Kommando
Service Aus
etc.
Steuer-Leitungen „Ein"
Anforderung
Adresse Ein
Status
Service Ein
etc.
Einleitungs-Phase
Ausführungs-Phase
Beendigungs-Phase
Zeit

Bild 7. Impulsdiagramm beim „Lesen" von Daten in einem Selektorkanal

Den zur Ausführung des soeben beschriebenen Selektorkanalprogramms notwendigen zeitlichen Ablauf der verschiedenen Adressen, Statusinformationen, Zeichen sowie der wichtigsten Steuerimpulse über den Standardanschluß zeigt das Impulsdiagramm in Bild 7. Zu

Beginn der Einleitungsphase wird die E/A-Adresse auf den Ausgabedatenkanal plaziert. Damit die angeschlossenen Steuereinheiten dieses Zeichen als eine Adresse interpretieren, gibt die Kanalsteuerung parallel dazu einen Impuls auf die Steuerleitung „Adresse Aus". Weiterhin wählt sie, wie bereits in Bild 5 angedeutet, durch ein Signal auf der Steuerleitung „Auswahl Aus" die gewünschte Steuereinheit bzw. das gewünschte E/A-Gerät aus. Dieses antwortet, indem es seine Adresse auf den Eingabedatenkanal gibt und gleichzeitig die Steuerleitung „Adresse Ein" anhebt. In ähnlicher Weise werden durch Plazieren der entsprechenden Informationen und gleichzeitiges Anheben der dazugehörigen Steuerleitungen der Operationscode sowie die Anfangsstatusmeldung übertragen.

Sollen während der Ausführungsphase Daten gelesen, d. h. vom E/A-Gerät zum Hauptspeicher übertragen werden, so gibt die Steuereinheit jedesmal, wenn ein Zeichen auf dem Eingabekanal bereitsteht, einen Impuls auf die Steuerleitung „Service Ein" und löst hierdurch die Übertragung aus. Ein Impuls auf der Steuerleitung „Service Aus" zeigt daraufhin der Steuereinheit an, daß das Zeichen vom Kanalpufferspeicher korrekt empfangen worden ist und mit der Übertragung des nächsten Zeichens begonnen werden kann.

Auch bei umgekehrter Übertragungsrichtung, d. h. beim Schreiben von Daten, bestimmt die angeschlossene Steuereinheit den Übertragungsrhythmus. Sie fordert jedes Zeichen einzeln durch einen Impuls auf der Steuerleitung „Service Ein" an. Sobald ein Zeichen auf dem Ausgabedatenkanal bereitsteht, wird die Übertragung durch einen Impuls auf der Steuerleitung „Service Aus" eingeleitet. Wie bereits erwähnt, erfolgt die Übertragung eines Zeichens auf den Datenkanälen bit-parallel, d. h. durch gleichzeitige Impulse auf den entsprechenden Bitleitungen des Datenkanals.

Ist das letzte Zeichen eines Datensatzes übertragen, so beginnt die Beendigungsphase des Kanalprogramms. Die Kanalsteuerung antwortet auf das nächste „Service Ein"-Signal der Steuereinheit mit einem Impuls auf der Steuerleitung „Kommando", wenn das Zeichenzählregister im Kanal auf Null heruntergezählt ist. Dieser Impuls zeigt der Steuereinheit an, daß die Übertragung beendet ist und daß keine weiteren Impulse mehr auf der Steuerleitung „Service Ein" gesendet werden dürfen. Die Steuereinheit antwortet daraufhin mit der Ende-Statusmeldung. Erst wenn diese von der Kanalsteuerung akzeptiert und durch ein „Service Aus"-Signal quittiert wurde, ist das Kanalprogramm beendet.

In einem Multiplexkanal läuft die Einleitungsphase, d. h. die Anfangsselektion eines bestimmten E/A-Geräts, in derselben Weise ab wie in einem Selektorkanal. Nur die Datenübertragung erfolgt im Zeitmultiplexbetrieb, wie es in Bild 8 auszugsweise für drei verschiedene E/A-Geräte angedeutet ist. Die Zeitintervalle T_1, T_2 und T_3 sind den Geräten „1", „2" und „3" zugeordnet. Während der Zeit T_4 läuft die Beendigungsphase des Gerätes „2" ab. Auch hier geht jede Anforderung zur Ausführung einer Übertragungsfunktion im allgemeinen von der jeweiligen Steuereinheit aus. Dies geschieht durch einen Impuls auf der Steuerleitung „Anforderung“, gleichgültig, ob es sich um einen Lesezyklus, Schreibzyklus oder um eine Beendigungsphase handelt. Die Kanalsteuerung antwortet mit der Auswahl der anfordernden Steuereinheit. Diese schaltet sich auf den Eingabedatenkanal auf und überträgt in bereits bekannter Weise ihre Adresse zur Kanalsteuerung. Jeder E/A-Adresse, d. h. jedem Unterkanal des Multiplexkanals, ist ein eigenes Kanalregister zugeordnet, in dem der jeweils gültige Kanalbefehl gespeichert ist. Es enthält, wie bereits erwähnt, Angaben zur Befehlsausführung wie Operationscode, Datenadresse oder Zeichenzahl. Die Kanalsteuerung wählt das entsprechende Kanalregister aus und sendet einen Impuls auf der Steuerleitung „Kommando“ zur Steuereinheit, der in diesem Falle soviel wie „Weitermachen“ bedeutet. Die Übertragung eines Zeichens vom oder zum E/A-Gerät vollzieht sich dann in bereits bekannter Weise unter der Kontrolle der Steuerleitungen „Service Ein“ und „Service Aus“. Anschließend werden Datenadresse und Zeichenzähler im Kanalregister berichtigt und die Kanalsteuerung zur Ausführung des nächsten Arbeitszyklus freigegeben. Ist das letzte Zeichen eines Datensatzes übertragen, wie es z. B. für das E/A-Gerät „2“ in Bild 8 für das Zeitintervall T_2 der Fall ist, so wird bei der nächsten Geräteanforderung durch einen Impuls auf der Steuerleitung „Kommando“ eine Beendigungsphase eingeleitet (Zeitintervall T_4). Sie hat praktisch denselben Verlauf wie beim Selektorkanal in Bild 7.

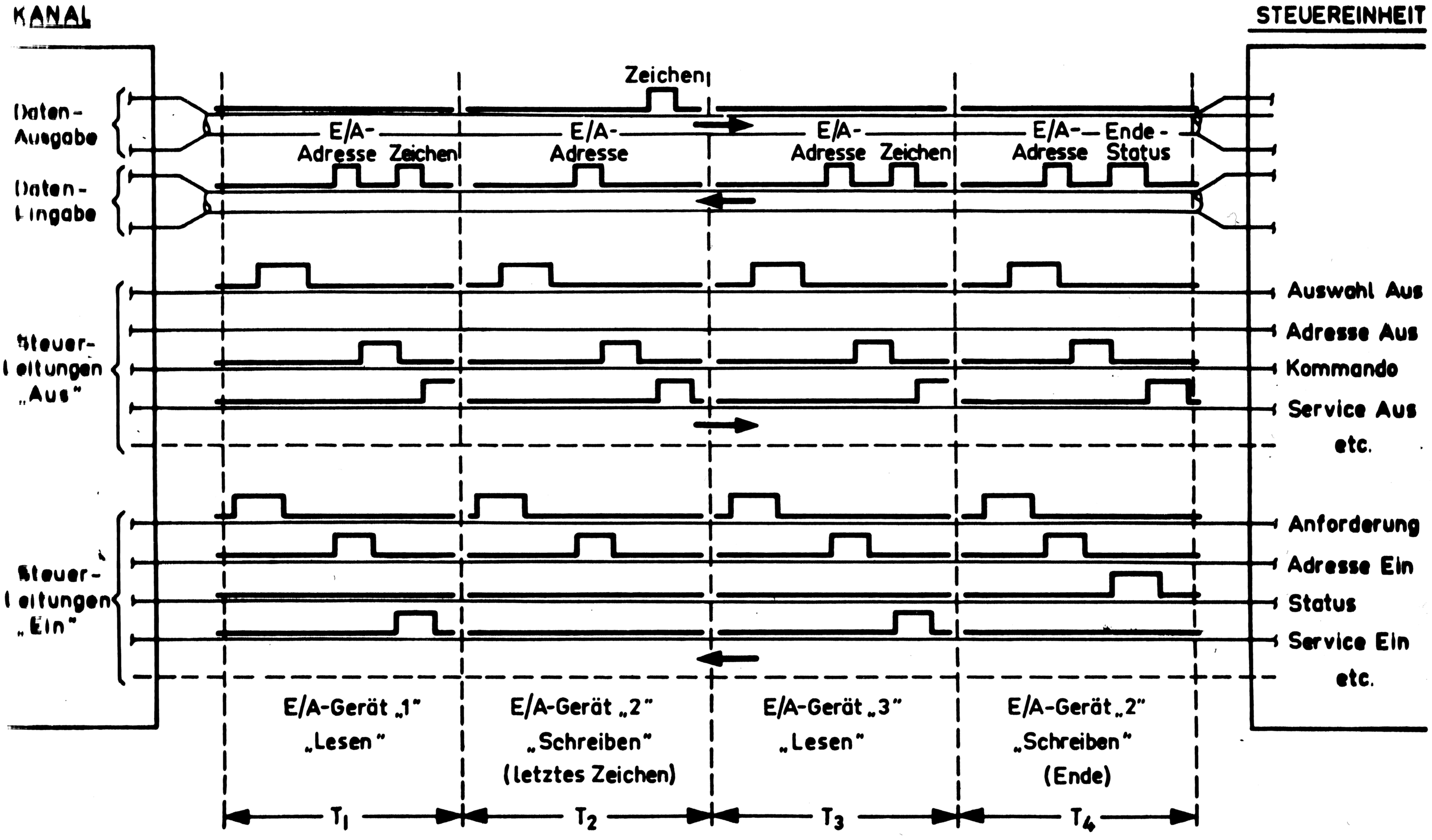

KANAL
STEUEREINHEIT
Daten-Ausgabe
Daten-Eingabe
Steuer-leitungen „Aus“
Steuer-leitungen „Ein“
Zeichen
E/A-Adresse
Zeichen
E/A-Adresse
E/A-Adresse
Zeichen
E/A-Adresse
Ende-Status
Auswahl Aus
Adresse Aus
Kommando
Service Aus
etc.
Anforderung
Adresse Ein
Status
Service Ein
etc.
E/A-Gerät „1“ „Lesen“
E/A-Gerät „2“ „Schreiben“ (letztes Zeichen)
E/A-Gerät „3“ „Lesen“
E/A-Gerät „2“ „Schreiben“ (Ende)
T1
T2
T3
T4

Bild 8.
Impulsdiagramm beim „Lesen“ und „Schreiben“ von Daten in einem Multiplexkanal

IV. Periphere Datengeräte

1. Ein/Ausgabegeräte

Ein/Ausgabegeräte wie Kartenstanzer, Belegleser oder Drucker haben die Aufgabe, die Verbindung zwischen der zentralen Datenverarbeitung, der Datenperipherie und dem Bedienungspersonal herzustellen. Dies geschieht über maschinenlesbare Informationsträger oder über Belege, die von Menschen erstellt, gelesen und ausgewertet werden. Da E/A-Geräte durchweg mechanische Geräte sind, die irgend etwas zu drucken, zu lochen, abzufühlen oder zu transportieren haben, ist ihre Arbeitsgeschwindigkeit, verglichen mit den hohen elektronischen Geschwindigkeiten der zentralen Datenverarbeitung, relativ langsam. Deswegen bildet die Anpassung der unterschiedlichen Arbeitsgeschwindigkeiten und Informationsflüsse das Hauptproblem der Datenein- und -ausgabe. Diese Anpassung wird in der Hauptsache durch Pufferspeicher, überlappendes Arbeiten und eine zweckmäßige Datenorganisation erreicht.

Ein weiteres Problem ist die unterschiedliche Signalform und Codierung der E/A-Geräte, die alle an den maschineninternen Code und die Art der Informationsübertragung in der zentralen Datenverarbeitung angepaßt werden müssen. Dies geschieht in modernen Systemen mit Kanalkonzept über Steuergeräte, welche die Verbindung zu den Datenkanälen über einen Standardanschluß herstellen und im allgemeinen auch die Pufferspeicher und die Signal- bzw. Codeumsetzer enthalten. Außerdem sind noch Informationen über den jeweiligen Status der E/A-Geräte — ob sie z. B. betriebsbereit, gerade in Arbeit oder gestört sind — enthalten. Sämtliche Steuergeräte einer Datenverarbeitungsanlage werden von der Zentrale her durch gleiche Befehle wie „Lesen“ oder „Schreiben“ angesprochen, ob es sich nun um Kartenstanzer, Drucker oder Magnetbandgeräte handelt. Die Umsetzung in spezielle Steuersignale nimmt das betreffende Steuergerät dann selbst vor. Auf diese Weise wird ein einheitlicher Datenverkehr zwischen den E/A-Geräten und der Zentraleinheit erreicht.

a) Lochkarten- und Lochstreifengeräte

Lochkarten und Lochstreifen haben sich als Informationsträger zur Datenein- und -ausgabe auch im Zeitalter der Elektronik behaupten können. Sie sind in jeder modernen Datenverarbeitungsanlage anzutreffen. Die Lochkarte (Bild 9) hat gegenüber dem Lochstreifen den Vorteil, daß sie misch- und sortierbar ist und somit leicht ausgewechselt werden kann. Sie ist in 80 senkrechte Spalten und 12 waagerechte Zeilen oder Zonen eingeteilt und kann in jeder Spalte ein Zeichen enthalten. Die Ziffernkarte in Bild 9 links zeigt einen verwendeten Lochkartencode für Ziffern, Buchstaben und Sonderzeichen und am oberen Kartenrand die entsprechenden Zeichen in Klarschrift. Neben den Lochungen können auf einer Verbundkarte (Bild 9 rechts) auch schriftliche Aufzeichnungen vorhanden sein. Zusammengehörende Kartenspalten werden als Kartenfeld bezeichnet.

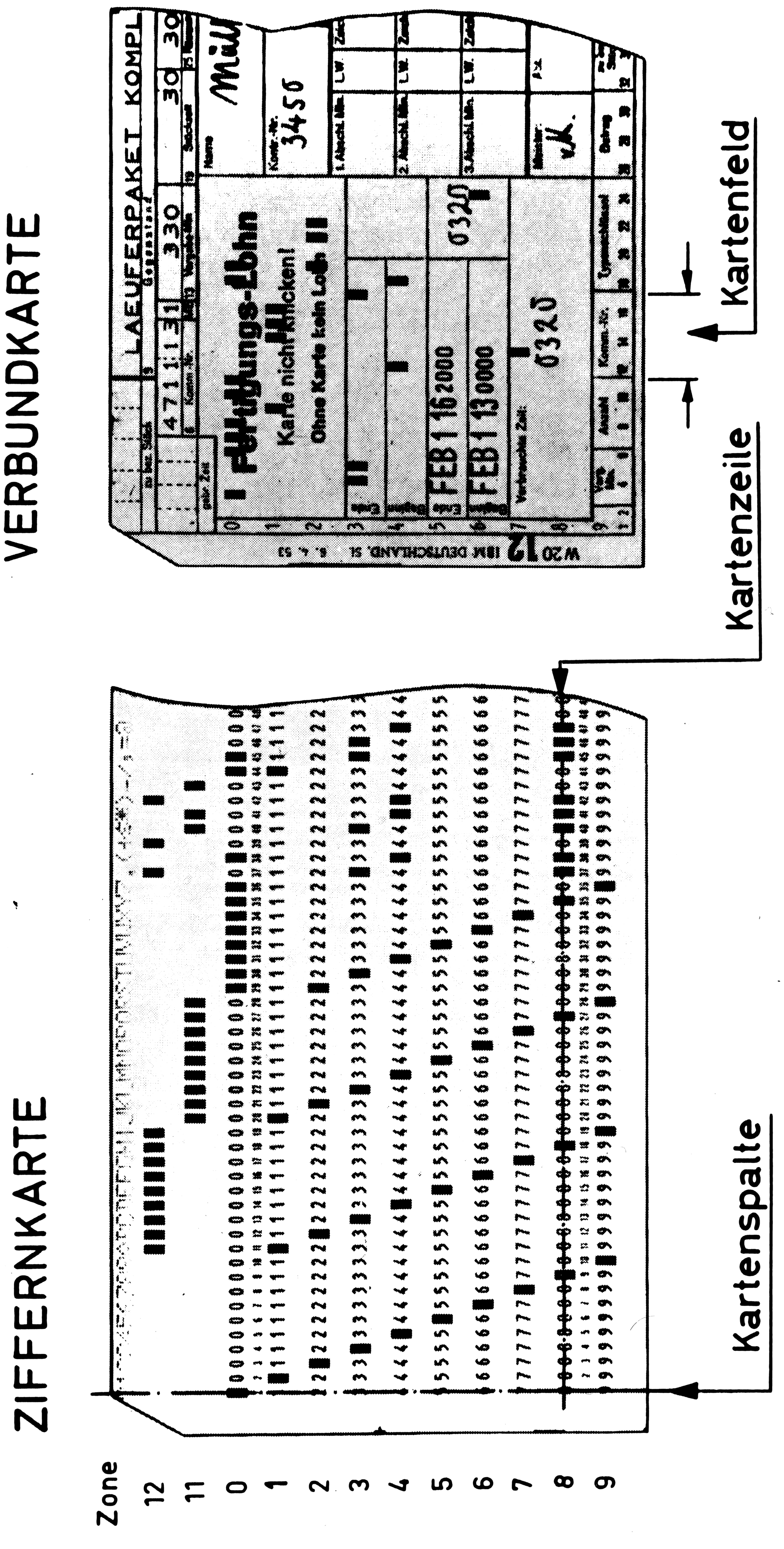

VERBUNDKARTE
LAEUFERPAKET KOMPL
Prüfungs-Lohn
Karte nicht knicken!
Ohne Karte kein Lohn
FEB 1 16 2000
FEB 1 13 0000
0320
3450
W 20 12 IBM DEUTSCHLAND
Kartenfeld
Kartenzeile
ZIFFERNKARTE
Kartenspalte
Zone
12
11
0
1
2
3
4
5
6
7
8
9

Bild 9. Lochkarte

Kartenstanzer

Karten können entweder Spalte für Spalte, d. h. seriell, oder aber Zeile für Zeile, d. h. parallel, gelocht werden. Je nach der erforderlichen Geschwindigkeit und Aufgabe wählt man das eine oder andere Verfahren. Bild 10 zeigt den Weg der Karte durch einen Parallelstanzer. Im Magazin wird eine Karte nach der anderen von einem sich horizontal bewegenden Mechanismus zwischen die Transportrollen geschoben, von diesen in die Stanzstation transportiert und dort ausgerichtet. Für jede der achtzig Spalten einer Lochkarte ist ein eigener Stanzstempel vorhanden. Stanzgeschwindigkeiten bis zu 500 Karten pro Minute, das sind ca. 100 Zeilen pro Sekunde, können zur Zeit erreicht werden. Nach dem Stanzen lassen sich die Lochungen z. B. mit Hilfe einer Abfühlstation noch einmal überprüfen, bevor die Karten abgelegt werden. Zum Abfühlen werden in diesem Falle ebenfalls achtzig Bürsten verwendet, die mit einer elektrisch leitenden Walze Kontakt geben, wenn Lochungen die Abfühlstation passieren.

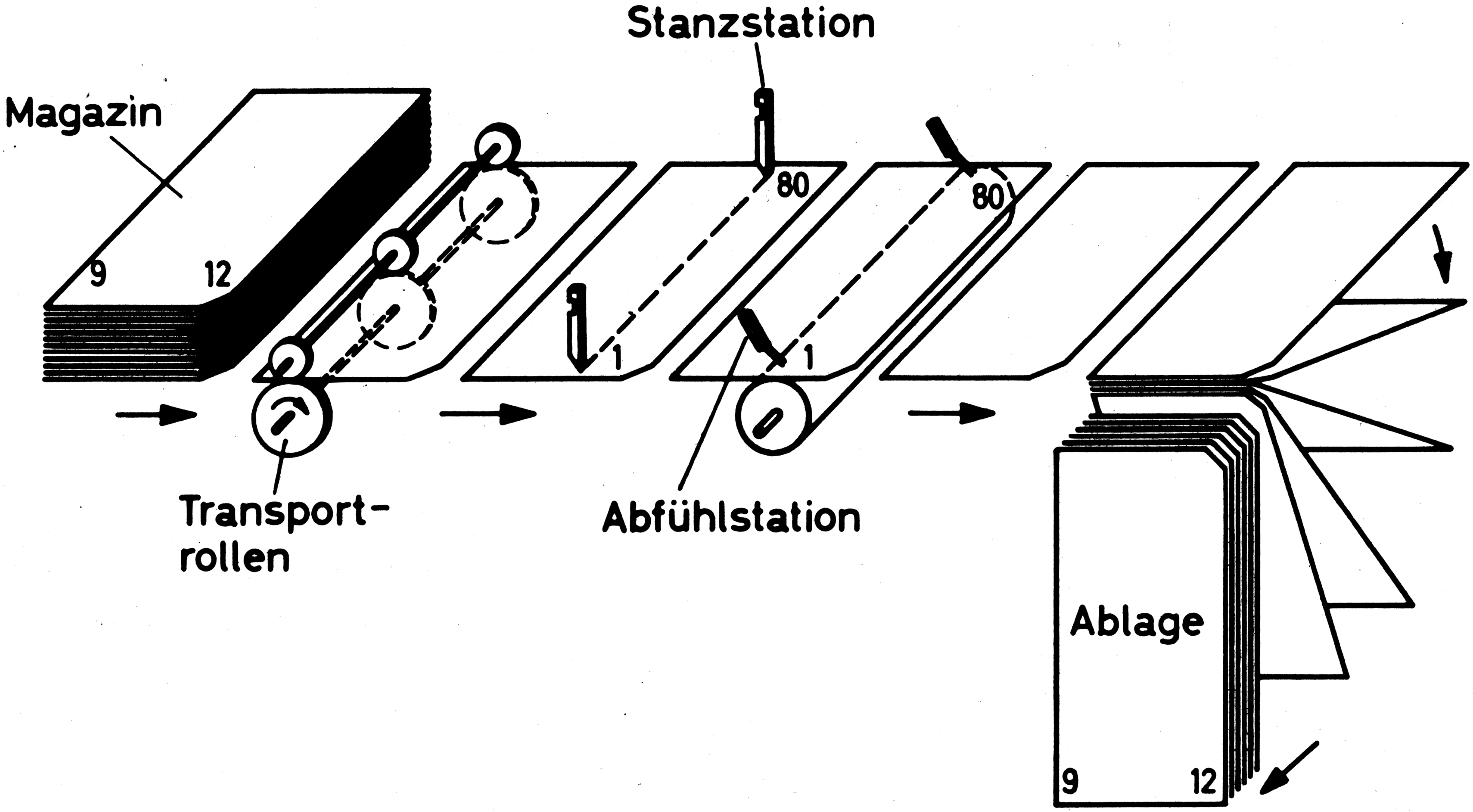


Bild 10. Kartenstanzer. Weg der Lochkarte durch den Stanzer

Ein typischer Stanzmechanismus ist aus Bild 11 a ersichtlich. Zu jeder Stanzposition gehören ein Magnet, eine Verriegelungsstange, eine Schubklinke und ein Stanzstempel. Die Verbindung zwischen der Verriegelungsstange und der Schubklinke wird über ein hebelförmig abgewinkeltes Zwischenglied hergestellt. Sämtliche achtzig Zwischenglieder werden von einer Betätigungsschwinge, die im Maschinentakt ständig eine auf- und abwärtsgehende Bewegung vollführt, mitgenommen. Hierdurch werden sämtliche Verriegelungsstangen ebenfalls bewegt und drücken die Anker der Stanzmagnete bei der Abwärtsbewegung gegen die Magnetkerne (Bild 11 b). Wenn man nun während dieser Zeit einen Stanzmagneten erregt — der Erregerstrom kann wegen des geschlossenen Eisenweges relativ klein gehalten werden —, so wird die dazugehörige Verriegelungsstange bei der Aufwärtsbewegung der Betätigungsschwinge festgehalten. Infolgedessen schiebt sich die Schubklinke, vom Zwischenglied bewegt, nach rechts zwischen Druckplatte und Stempel (Bild 11 c). Damit ist aber eine mechanische Verbindung zwischen der Druckplatte, die sich ebenfalls im Maschinentakt auf- und abwärtsbewegt, und dem Stanzstempel hergestellt. Der Stempel drückt ein Loch in die Karte und wird bei der Aufwärtsbewegung der Druckplatte von der Rückstellschiene aus dem Loch wieder herausgezogen.

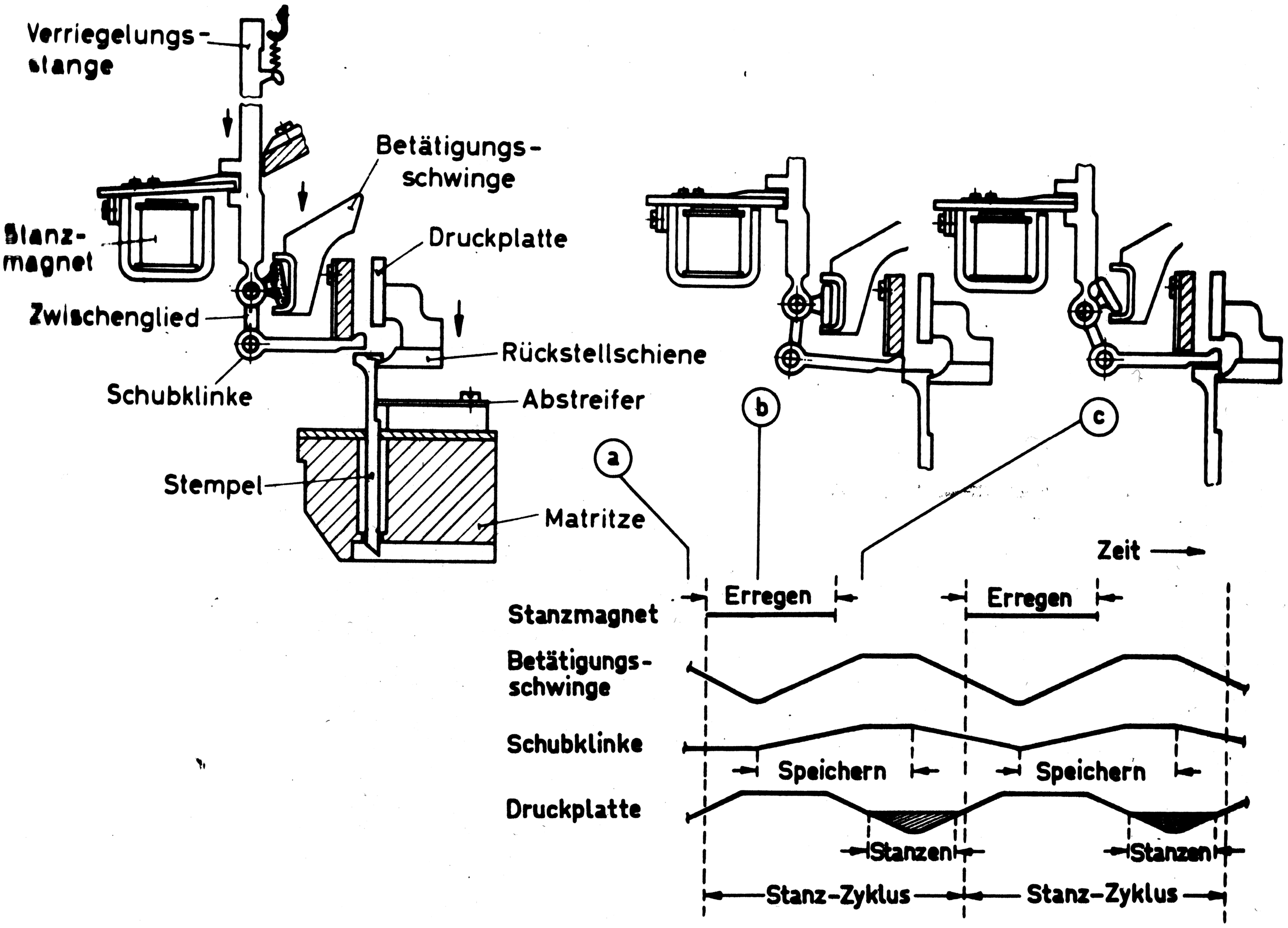

Verriegelungsstange
Betätigungsschwinge
Stanzmagnet
Druckplatte
Zwischenglied
Rückstellschiene
Schubklinke
Abstreifer
Stempel
Matritze
a
b
c
Zeit
Stanzmagnet
Erregen
Erregen
Betätigungsschwinge
Schubklinke
Speichern
Speichern
Druckplatte
Stanzen
Stanzen
Stanz-Zyklus
Stanz-Zyklus

Bild 11. Stanzmechanismus. a) Ruhestellung, b) Abwärtsbewegung und c) Aufwärtsbewegung der Betätigungsschwinge

Den gesamten Bewegungsablauf von Betätigungsschwinge, Schubklinke und Druckplatte zeigt zusammenfassend noch einmal das Zeitdiagramm rechts in Bild 11. Die zu stanzende Information wird während eines Stanz-Zyklus doppelt gespeichert, erstens als magnetische Erregung des Stanzmagneten und zweitens als mechanische Verschiebung der Schubklinke. Nur durch solche sich überlappende Arbeitsweise der Funktionen „Erregen“, „Speichern“ und „Stanzen“ während eines Stanz-Zyklus lassen sich derart hohe Stanzgeschwindigkeiten erreichen.

Kartenleser

Wie beim Kartenstanzer werden auch beim Leser die Karten je nach Aufgabe seriell oder parallel innerhalb der Maschine bewegt. Die

Lochabfühlung über metallisch leitende Bürsten wurde bereits erwähnt. Die hiermit erreichbaren Abfühlgeschwindigkeiten liegen bei 1000 Karten pro Minute. Abfühlbürsten arbeiten sehr zuverlässig, wenn sie stromlos schalten, d. h. von kräftigen Nockenkontakten übersteuert werden. Sie erzeugen jedoch durch den unvermeidlichen Abrieb Kartenstaub und müssen von Zeit zu Zeit nachjustiert werden. Dieser Nachteil wird bei einer photoelektrischen Abfühlung vermieden. Da hierbei Bürstenreibung und mechanische Kontaktgabe entfallen, lassen sich höhere Durchlaufgeschwindigkeiten erzielen. Man fühlt die Karten jedoch im allgemeinen spaltenweise ab, um die Abfühloptik und die Umcodierung der abgefühlten Information nicht zu kompliziert und umfangreich werden zu lassen, erreicht jedoch mit der möglichen höheren Durchlaufgeschwindigkeit etwa dieselben Abfühlgeschwindigkeiten wie bei paralleler Bürstenabfühlung. Die Abfühlstation enthält 12 Lämpchen und 12 Photozellen entsprechend den 12 Zeilen einer Lochkarte. Wenn eine Lochkarte die Abfühlstation passiert, gelangt Licht durch die Lochungen auf die Photozellen und wird hier in elektrische Signale umgeformt. Eine neuere Entwicklung auf dem Gebiet der Lochabfühlung ist die Glasfiberoptik. Sie enthält anstelle der 12 Lämpchen nur eine einzige Lampe. Das Licht wird über getrennte Glasfibern zu den 12 Lochpositionen der Abfühlstation weitergeleitet. Neben einem einfacheren Aufbau hat dieses Verfahren noch den Vorteil, daß die Ausleuchtung in allen Lochpositionen immer dieselbe ist, da sie von einer gemeinsamen Lichtquelle herrührt. Durch Altern oder Ausbrennen einzelner Lampen entstandene Unterschiede in der Lichtintensität und hierdurch bedingte einzelne Nachjustagen entfallen hierbei.

Mehrfunktionskarteneinheiten

In älteren Lochkartenanlagen hatte man für jede Funktion, wie Stanzen, Abfühlen, Sortieren, Mischen usw., eine eigene Maschine vorgesehen. In modernen Anlagen herrscht jedoch die Tendenz vor, mehrere Funktionen in einer Einheit zusammenzufassen und damit die Zahl der manuellen Bedienungseingriffe und Kartendurchläufe zu reduzieren. So werden kombinierte Lesestanzer oder Maschineneinheiten mit noch mehr Maschinenfunktionen in zunehmendem Maße verwendet. Solch eine Mehrfunktionskarteneinheit — Bild 12 zeigt den Kartendurchlauf durch die Maschine — vereinigt in sich z. B. einen Kartenleser, Kartenstanzer, Mischer und Lochschriftübersetzer. Die hier gezeigte Maschine enthält zwei Zuführungsmagazine, fünf Ablagefächer sowie Abfühl-, Stanz- und Beschriftungsstationen. Karten können wahlweise von jedem Zuführungsmagazin in jedes Ablagefach gesteuert werden. Das Abfühlen und Lochen der Karten erfolgt spaltenweise.

Die Lochkarten werden in zwei getrennten, übereinander liegenden Kartenbahnen vom Erst- bzw. Zweitkartenmagazin bis kurz vor die Abfühlstation transportiert und dort in den Lese-Auswahlstationen bereitgestellt. Die 12 Lämpchen der photoelektrischen Abfühlstation scheinen durch beide Kartenbahnen hindurch und ermöglichen somit

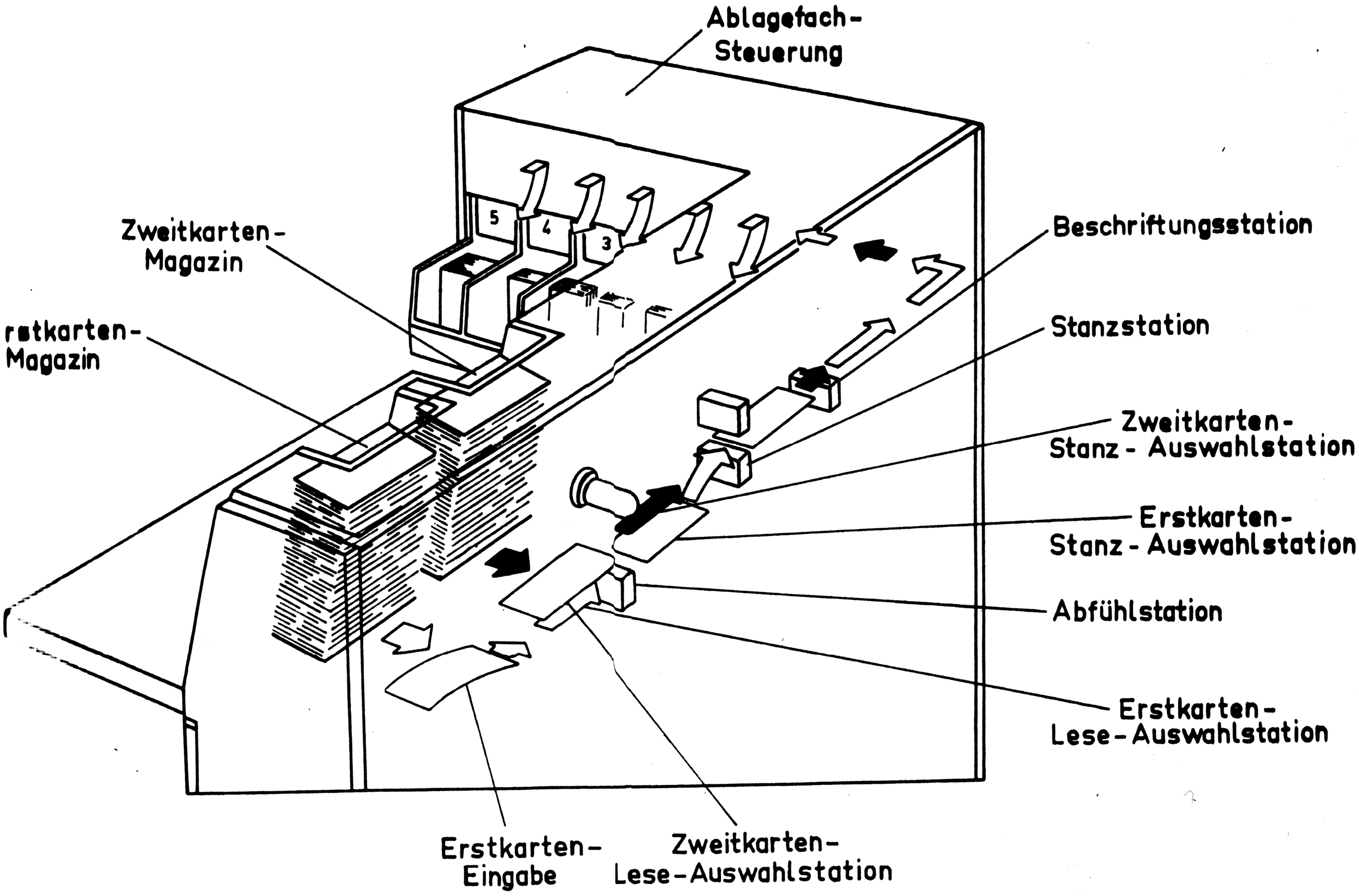

Ablagefach-
Steuerung
Zweitkarten-
Magazin
Erstkarten-
Magazin
5
4
3
Beschriftungsstation
Stanzstation
Zweitkarten-
Stanz-Auswahlstation
Erstkarten-
Stanz-Auswahlstation
Abfühlstation
Erstkarten-
Lese-Auswahlstation
Erstkarten-
Eingabe
Zweitkarten-
Lese-Auswahlstation

Bild 12. Mehrfunktionskarteneinheit IBM 2560

das wahlweise Abfühlen von Erst- oder Zweitkarten aus den zwei Kartenbahnen mit nur einer Abfühlstation. Das Maschinenprogramm bestimmt, welche der beiden Karten als nächste abgefühlt werden soll. Von der Abfühlstation gelangen die Karten in die Stanz-Auswahlstationen. Auch hier wird durch Programm bestimmt, welche Karte als nächste gestanzt bzw. beim Mischen oder Sortieren weitertransportiert werden soll. Hinter der Stanzstation werden Erst- und Zweitkarten in einer gemeinsamen Kartenbahn bis zur Ablage weitergeleitet. In der Beschriftungsstation ist ein Beschriften mit Daten aus der Lochkarte selbst oder aus der angeschlossenen Datenverarbeitungsanlage möglich. Die Lesegeschwindigkeit beträgt 500 Karten pro Minute, das sind etwa 660 Kartenspalten pro Sekunde. Die maximale Stanzleistung ist abhängig von der Anzahl und Position der zu stanzenden Spalten. Sie beträgt bei Stanzen bis Spalte 10 etwa 40 Spalten pro Sekunde, bei Stanzen bis Spalte 80 etwa 120 Spalten pro Sekunde.

Streifenlocher

Streifenlocher lochen die zu speichernde Information, Zeichen für Zeichen seriell nacheinander, je nach Code in 5 oder 8 parallelen Spuren (Serien-Parallel-Darstellung) in Papier- oder Plastikstreifen (Bild 13). Auch Lochstreifenkarten, die außer den Lochungen noch schriftliche Aufzeichnungen enthalten, sind gebräuchlich.

Das Arbeitsprinzip eines sehr schnellen Streifenlochers mit 300 Zeichen pro Sekunde zeigt Bild 14. Eine Schnittplatte C (Bild 14 links oben), die, von einer Nockenscheibe 3 angetrieben, eine auf- und ab-

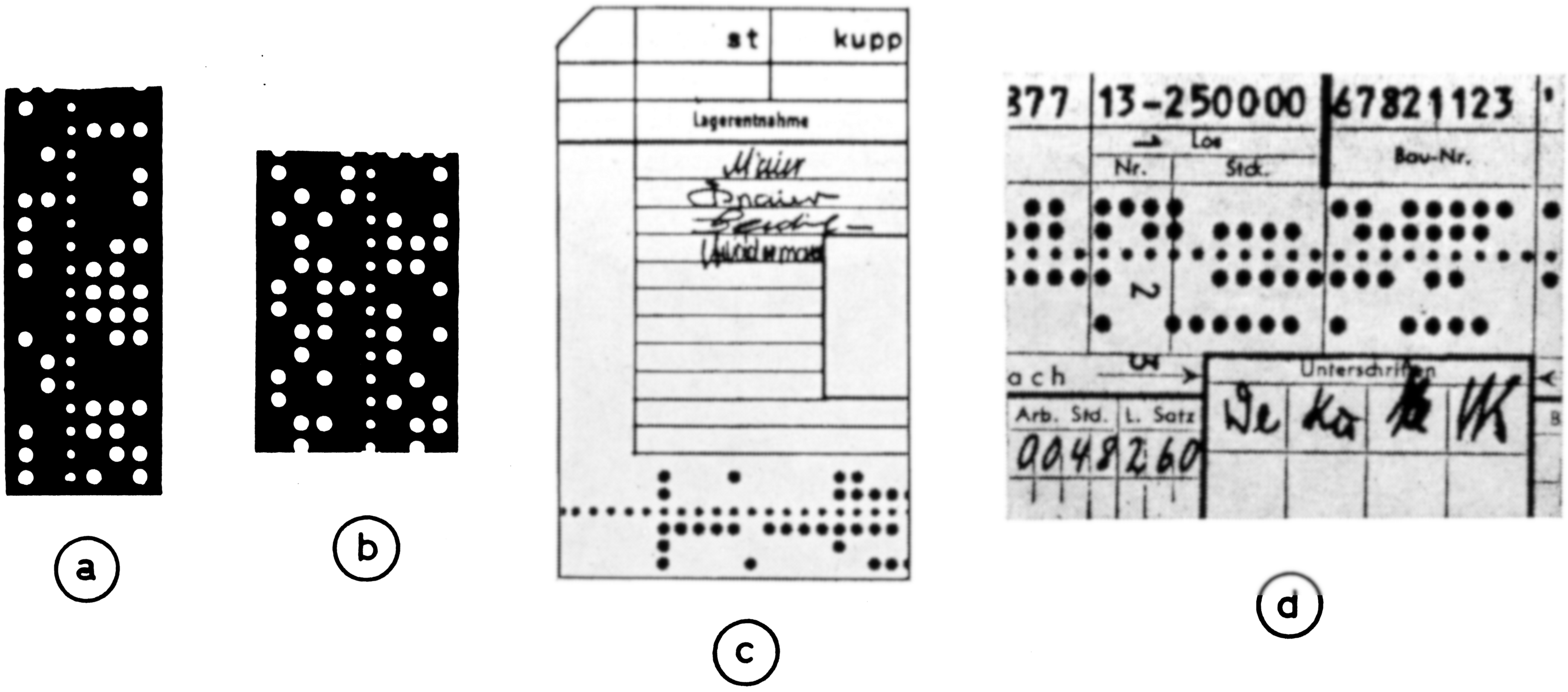
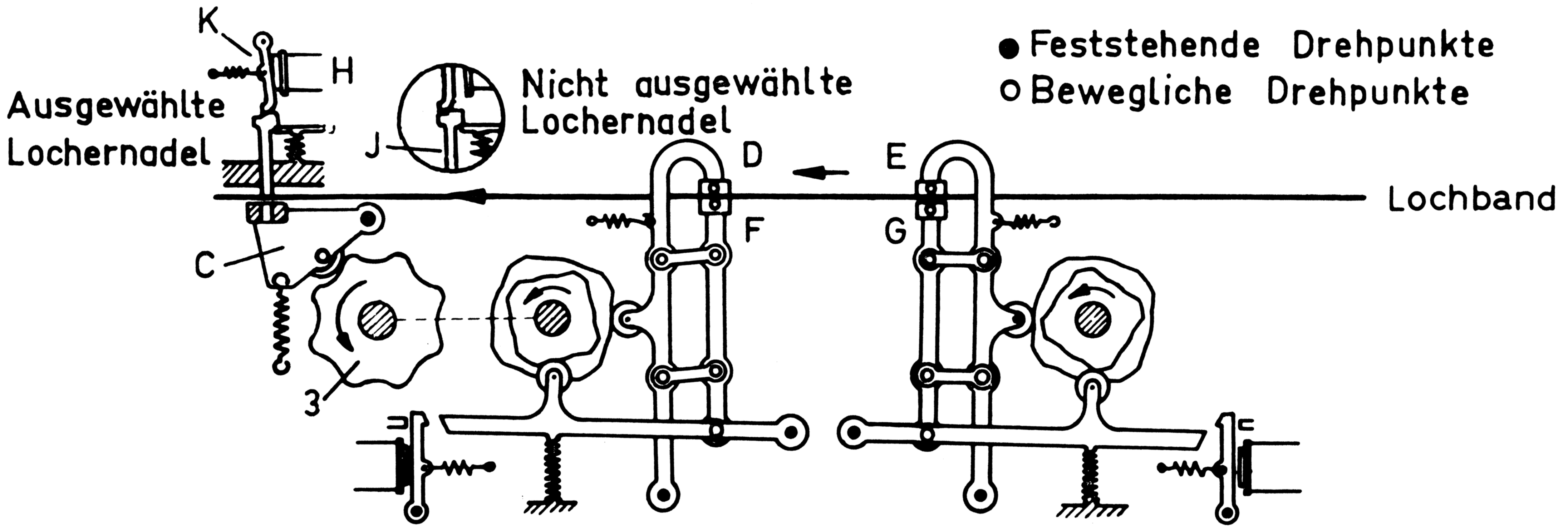

a
b
c
d
st
kupp
Lagerentnahme
377 13-250000 67821123
Los
Nr.
Stck.
Bau-Nr.
ach
Unterschriften
Arb. Std.
L. Satz
0048 2,60

Bild 13. Lochstreifen.
a) 5-Spurlochstreifen, b) 8-Spurlochstreifen, c) und d) Lochstreifenkarten

wärtsgehende Bewegung ausführt, drückt von unten gegen den Lochstreifen. Befindet sich der Anker K des Empfängermagneten H in angezogenem Zustand, so kann die Lochernadel J nicht nach oben ausweichen und drückt ein Loch in das Papier. Der gesamte Lochmechanismus enthält fünf bzw. acht Lochstempel quer zur Bewegungsrichtung des Streifens. Außerdem ist noch eine Perforiereinrichtung vorhanden, die eine zusätzliche, durchlaufende Transport- oder Taktlochung in den Streifen locht. Zum Transport des Streifens greifen normalerweise Stachelräder in diese Transportlochungen ein. Bei


K
H
Ausgewählte Lochernadel
Nicht ausgewählte Lochernadel
J
D
E
F
G
C
3
Lochband
● Feststehende Drehpunkte
○ Bewegliche Drehpunkte

Lochen		Lochen			
steht links	Bewegung nach rechts	steht rechts	Bewegung n. links (Transp.)	D	Transport-bügel
steht rechts	Bewegung n. links (Transp.)	steht links	Bewegung nach rechts	E	
öffnet	offen	schließt	geschlossen	F	Transport-greifer
schließt	geschlossen	öffnet	offen	G	
1	2	3	4		

Bild 14. Streifenlocher Modell 3000 der Fa. Creed & Company Limited, England

hohen Geschwindigkeiten treten jedoch relativ große Beschleunigungskräfte und damit die Gefahr des Ausreißens auf; denn der Streifen muß einerseits während des Lochvorgangs stillstehen, andererseits aber mit möglichst hoher Geschwindigkeit in die nächste Lochposition transportiert werden. Deswegen verwendet man neben den Stachelrädern auch Friktionsrollen oder nockengesteuerte Greifer, die den Streifen in seiner ganzen Breite festklemmen und weitertransportieren. Bild 14 veranschaulicht einen zweifachen, alternierend arbeitenden Greifertransport mit seinen einzelnen Ablaufphasen.

Streifenleser

Lochstreifenleser werden entweder im Start-Stop-Betrieb oder im freien Lauf betrieben. Beim Start-Stop-Betrieb ist der Leser abhängig von einer anderen Maschine, beispielsweise einer Werkzeugmaschinensteuerung, die nach Bedarf Schritt für Schritt ihre Weg- und Schaltinformationen abruft. Zum Einlesen von Informationen in Datenverarbeitungsanlagen kann der Leser jedoch meist mit maximaler Geschwindigkeit frei laufen, da Arbeitsgeschwindigkeit und Speicherfähigkeit von Datenverarbeitungsanlagen um Größenordnungen höher sind als die von Lochstreifengeräten. Maximale Lesegeschwindigkeiten liegen z. Z. bei 1000 Zeichen pro Sekunde im freien Lauf bei photoelektrischer oder dielektrischer Abfühlung [7].

Die photoelektrische Abfühlung ist im Prinzip dieselbe wie bei den bereits erwähnten Lochkartenlesern. Bei dielektrischen Lesern stellt der Lochstreifen das Dielektrikum eines Kondensators dar, dessen Kapazität sich ändert, wenn ein Loch den Lesekopf der betreffenden Spur passiert.

Problematisch ist auch hier der Lochbandvorschub und das Abbremsen bzw. Beschleunigen des Streifens, da sowohl freier Lauf als auch Start-Stop-Betrieb wahlweise möglich sein müssen. Der Vorschub über die Transportlöcher wird aus den bereits erwähnten Gründen gern vermieden. Bewährt haben sich jedoch Friktionsantriebe über Walzen. Das Abbremsen geschieht über Bremsbacken, die auf beiden Seiten des Streifens angreifen und von Bremsmagneten betätigt werden. Die hierbei auftretenden stoßartigen Massebeschleunigungen des Papierstreifens lassen sich beispielsweise durch Schlaufenbildung klein halten. Man bildet sowohl auf der einlaufenden als auch auf der auslaufenden Seite Schlaufen, deren Länge durch selbsttätige Regler konstant gehalten wird. Photoelektrische oder pneumatische Meßfühler tasten dazu die Schlaufenlänge ab und erniedrigen zum Beispiel die Antriebsdrehzahl der Streifenzuführung, wenn die Schlaufe auf der einlaufenden Seite beim Abbremsen des Streifens zu lang wird.

b) Belegleser

Der weitaus größte Teil der Eingabeinformationen für datenverarbeitende Anlagen wird in schriftlicher Form angeliefert und muß auf irgend eine Art in einen „maschinenlesbaren“ Code umgewandelt werden. Die Zwischenschaltung des Menschen zum Stanzen von Lochkarten und Lochstreifen ist eine Möglichkeit dieser Umwandlung, die zur Zeit zwar am weitesten verbreitet ist, nichtsdestoweniger aber doch einen zeitraubenden und fehleranfälligen Umweg darstellt. Es hat deswegen seit Beginn der Datenverarbeitung nicht an Bemühungen gefehlt, diesen Umweg zu vermeiden. Zur Zeit lassen sich folgende Gruppen der automatischen Zeichenerkennung unterscheiden [8]:

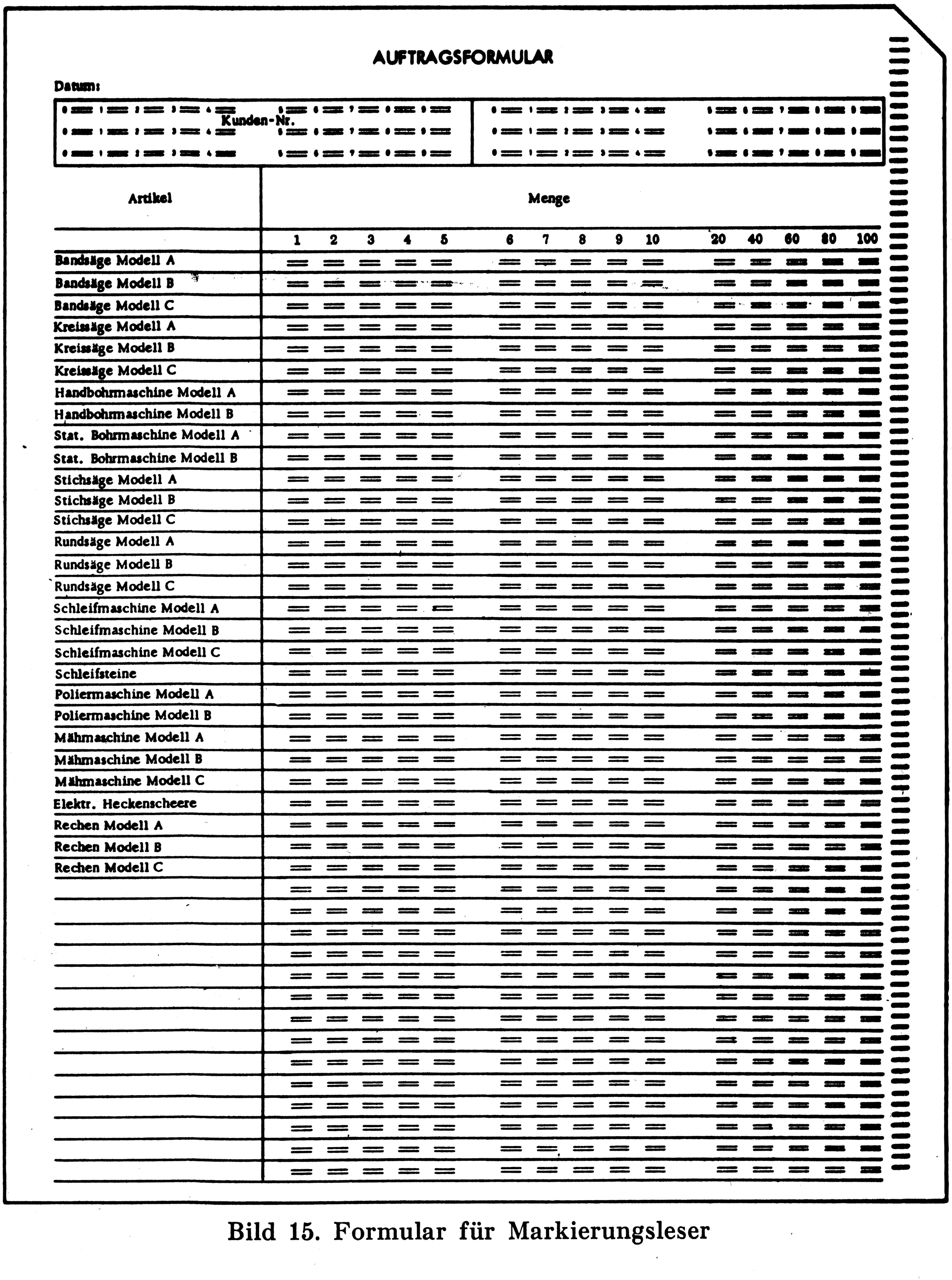
1. Die Abfühlung von Markierungsstrichen (Markierungsleser),
2. die Erkennung von Magnetschriftzeichen (Magnetschriftleser),
3. die optische Erkennung stilisierter Schriftzeichen (Klarschriftleser),
4. die optische Erkennung handgeschriebener Ziffern und Sonderzeichen (Handschriftleser).

Markierungsleser

Eine relativ einfache Methode der maschinenlesbaren Codierung besteht darin, auf den auszuwertenden Dokumenten in vorbestimmten Feldern Strichmarkierungen aufzubringen und diese in Markierungslesern abzufühlen. Bild 15 zeigt ein Formular, auf dem die gewünschten Bestellmengen und sonstigen Angaben durch Bleistiftstriche markiert werden können. Das Formular ist in 20 Spalten und 50 Zeilen unterteilt. Je 10 Spalten einer Zeile bilden ein Wort, das wiederum in 2 Halbworte mit je 5 Markierungsstellen unterteilt werden kann. Zwei Steuermarken am rechten Rand des Formulars kennzeichnen das linke bzw. rechte Wort einer Zeile. Die Markierungsstriche und Steuermarken werden photoelektrisch zeilenweise abgefühlt. 20 Photozellen sind für die Belegdaten und 2 für die Steuermarken und eventuell vorhandene Leitbelegmarkierungen vorgesehen. Zu jeder Spalte gehören eine Photozelle, eine Lichtquelle und eine lichtbegrenzende Blende. Wenn das Formular die Abfühlstation passiert, wird das einfallende Licht vom Papier auf die Photozellen reflektiert. Die Reflexion ist jedoch abhängig davon, ob blankes Papier oder ein nichtreflektierender Markierungsstrich vorhanden ist. Am Absinken des Photozellenstromes lassen sich demnach Markierungen erkennen und interpretieren. Die Leseleistung beträgt bei fortlaufender Formularzuführung etwa 30 Formulare pro Minute.

Magnetschriftleser

Magnetschriftzeichen sollen sowohl visuell als auch maschinell lesbar sein. Sie dürfen sich, obwohl zum maschinellen Lesen ihre magnetischen Eigenschaften maßgebend sind, visuell nicht wesentlich von gewöhnlichen Druckzeichen unterscheiden. Eine Ausführungsform, die Magnetschrift CMC 7, zeigt Bild 16 [9, 10, 11]. Jedes Zeichen besteht aus sieben durchgehenden oder unterbrochenen vertikalen Strichen und deren Zwischenräumen, die zwei verschiedene Breiten haben. Der zum maschinellen Erkennen des Zeichens dienende Code besteht aus der Kombination von schmalen und breiten Zwischenräumen. Die vertikalen Strichelemente sind unter Berücksichtigung der Erfordernisse des maschinellen Lesens so angeordnet, daß das



AUFTRAGSFORMULAR

Datum:

Kunden-Nr.

Artikel

Menge

1 2 3 4 5 6 7 8 9 10 20 40 60 80 100

Bandsäge Modell A
Bandsäge Modell B
Bandsäge Modell C
Kreissäge Modell A
Kreissäge Modell B
Kreissäge Modell C
Handbohrmaschine Modell A
Handbohrmaschine Modell B
Stat. Bohrmaschine Modell A
Stat. Bohrmaschine Modell B
Stichsäge Modell A
Stichsäge Modell B
Stichsäge Modell C
Rundsäge Modell A
Rundsäge Modell B
Rundsäge Modell C
Schleifmaschine Modell A
Schleifmaschine Modell B
Schleifmaschine Modell C
Schleifsteine
Poliermaschine Modell A
Poliermaschine Modell B
Mähmaschine Modell A
Mähmaschine Modell B
Mähmaschine Modell C
Elektr. Heckenscheere
Rechen Modell A
Rechen Modell B
Rechen Modell C

Bild 15. Formular für Markierungsleser

dem jeweiligen Code entsprechende Schriftzeichen auch visuell erkennbar ist. Zwei breite und vier schmale Zwischenräume können in $\binom{6}{2} = 15$ verschiedenen Folgen kombiniert werden. Diese Kombinationen werden für die 10 Ziffern und 5 Sonderzeichen benutzt. Die Ziffer 7 hat die zwei breiten Zwischenräume beispielsweise am Anfang des Zeichens, die Ziffer 0 in der Mitte. Als Code für die Buchstaben dienen Kombinationen mit einem oder drei breiten Zwischenräumen.

Die Zeichen werden auf die Originalbelege mit einer eisenoxydhaltigen, magnetisierbaren Druckfarbe aufgedruckt. Eine Magnetschriftzeile läßt sich wie eine Lochkarte in einzelne Felder aufteilen, die durch Sonderzeichen am Anfang der Felder identifizierbar sind [9]. Innerhalb eines Feldes werden die Zeichen in mehrere Worte unterteilt. Die Abstände zwischen den einzelnen Zeichen und Worten sind verschieden lang, damit beim Lesen Zeichenende und Wortende unterschieden werden können. Bevor die Magnetschriftzeichen den Lesekopf erreichen, werden sie in einem Magnetfeld aufmagnetisiert. Der Lesevorgang selbst entspricht im Prinzip dem Lesen von Magnetbändern. Jeder vertikale Strich eines Zeichens induziert beim Passieren des Lesekopfes eine Spannung in dessen Lesewicklung. Maßgebend für die Interpretation sind hierbei jedoch lediglich die zeitlichen Abstände zwischen den Leseimpulsen. Kurze und lange Intervalle treten innerhalb eines Zeichens, sehr lange Intervalle zwischen zwei Zeichen und überlange zwischen den Worten eines Magnetzeilenfeldes auf.

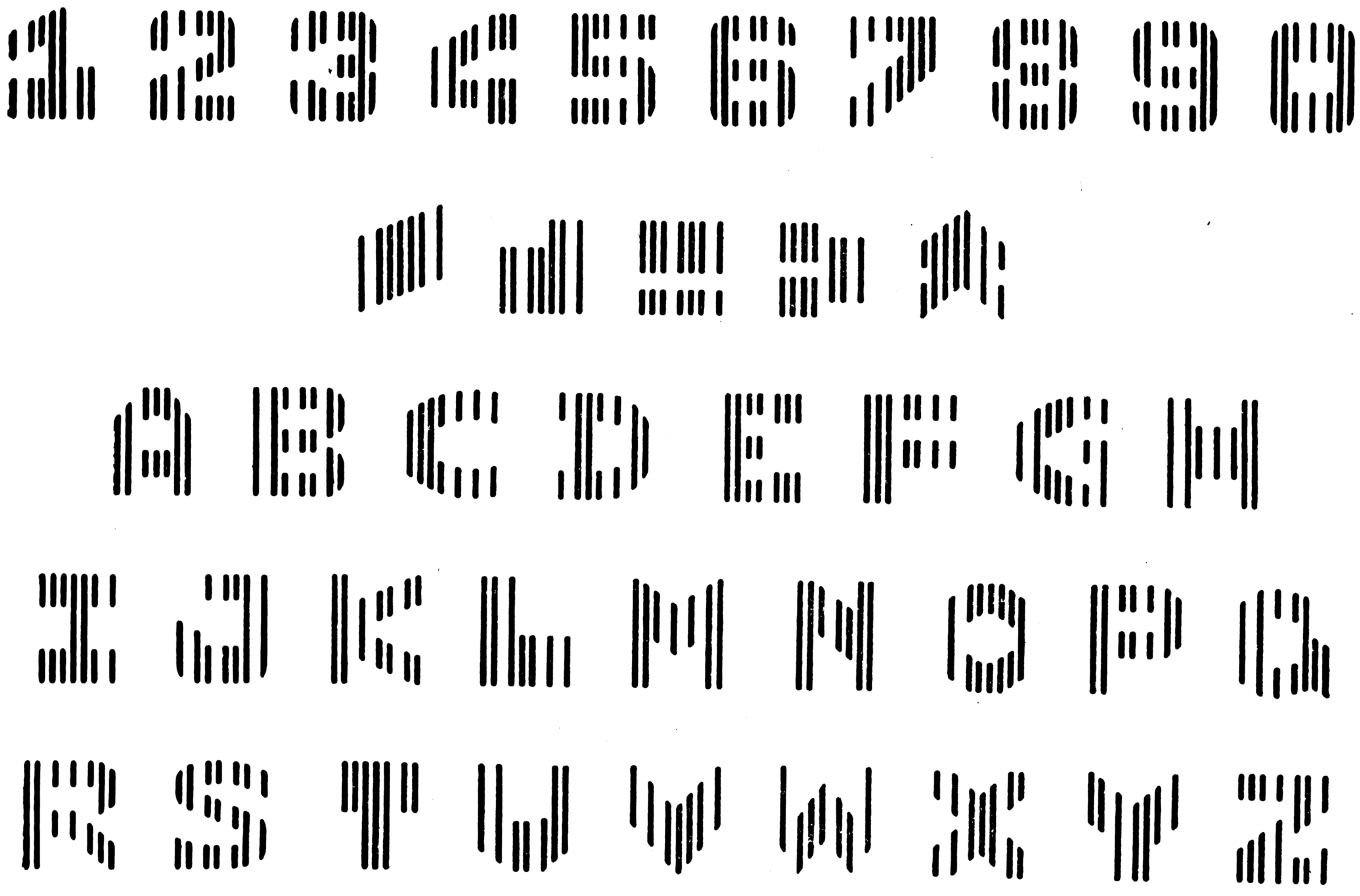


Bild 16.
Magnetschrift CMC 7
(nach Unterlagen der
Fa. Bull Deutschland Lochkartenmaschinen GmbH.)

Der Schriftzeichencode ist ein binärer 6-Bit-Code, von dessen 64 Bitkombinationen nur 41 (10 Ziffern, 26 Buchstaben, 5 Sonderzeichen) verwendet werden. Ein langes Intervall entspricht einer binären 1 und ein kurzes Intervall einer binären 0. Jedes gelesene Zeichen innerhalb eines Wortes wird mit Hilfe eines Zeichenzählers registriert, indem bei jedem sehr langen Intervall der Zeichenzähler um eins weiterzählt. Bei jedem überlangen Intervall, d. h. bei Wortende, wird der Zeichenzähler gelöscht. In ähnlicher Weise lassen sich die einzelnen Worte innerhalb eines Feldes mittels eines Wortzählers identifizieren, der bei jedem überlangen Intervall weiterzählt und beim Abfühlen eines Feld-Sonderzeichens gelöscht wird. Die Lesegeschwindigkeit hängt von der Länge der Magnetschriftzeichen ab. Sie beträgt bei einer Beleglesemaschine beispielsweise maximal 1560 Belege pro Minute.

Klarschriftleser

Optische Zeichenerkennungsverfahren laufen im Grunde genommen alle darauf hinaus, typische Merkmal-Kombinationen der Schriftzeichen zu erkennen, zu analysieren und mit gespeicherten Schriftproben zu vergleichen. Mit Rücksicht auf die Lesesicherheit und den tragbaren technischen Aufwand ist es vorteilhaft und üblich, die Mannigfaltigkeit der das Schriftbild kennzeichnenden Parameter einzuschränken. Dafür müssen aber bestimmte typische Merkmale, die das maschinelle Erkennen erleichtern, stärker hervortreten. Dies führte zu der Entwicklung stilisierter Schriftzeichen, die sowohl visuell als auch maschinell lesbar sind.

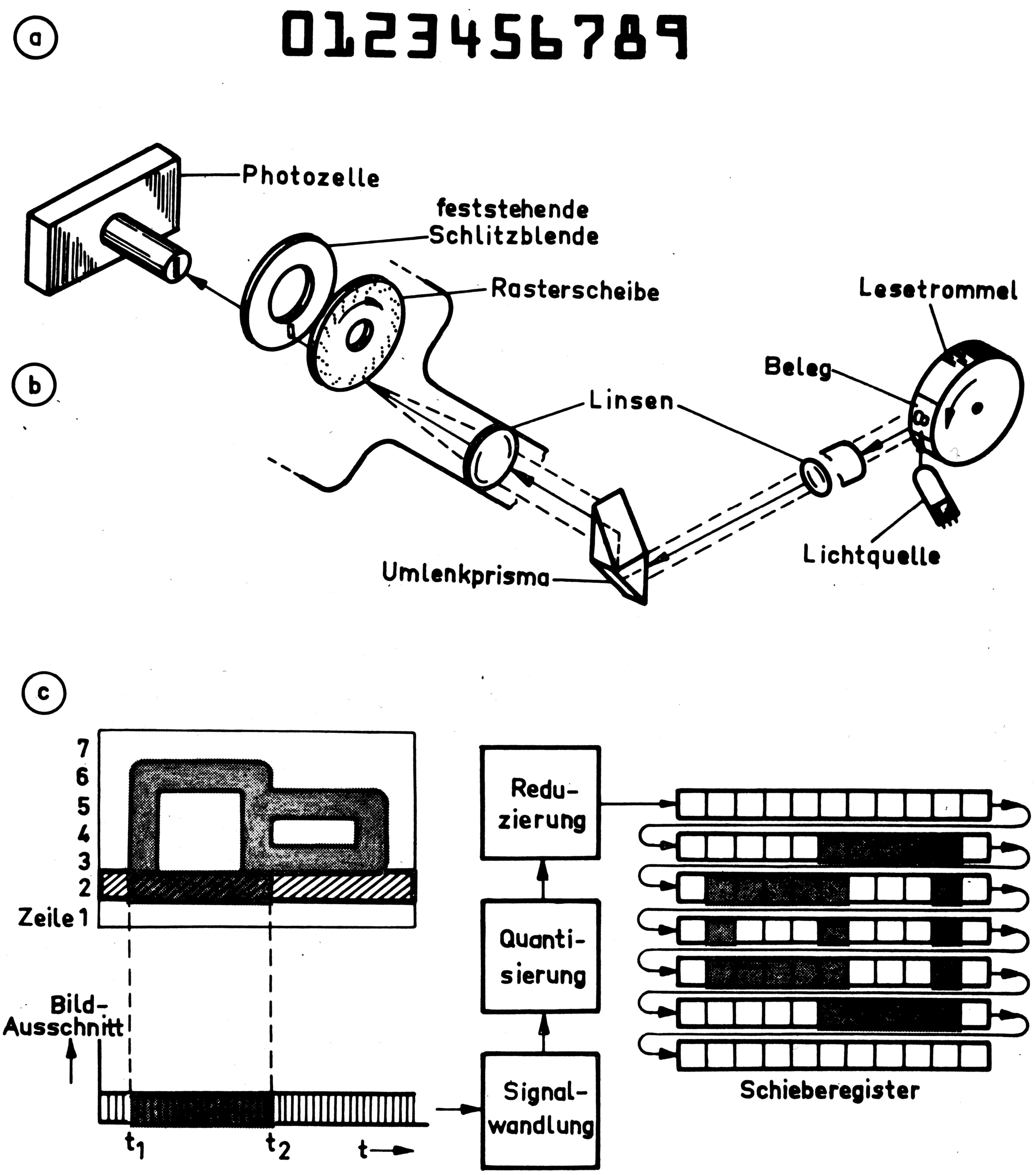

a
0123456789
Photozelle
feststehende Schlitzblende
Rasterscheibe
Lesetrommel
Beleg
b
Linsen
Umlenkprisma
Lichtquelle
c
7
6
5
4
3
2
Zeile 1
Bild-Ausschnitt
t1
t2
t
Redu-zierung
Quanti-sierung
Signal-wandlung
Schieberegister

Bild 17. Optische Zeichenerkennung stilisierter Schriftzeichen

Bild 17 a zeigt die 10 Ziffern eines internationalen Normentwurfs (Schrift A DIN 66008) für maschinelle optische Zeichenerkennung und Bild 17 b die prinzipielle Wirkungsweise eines häufig angewandten optischen Erkennungsverfahrens [12]. Von einer Lichtquelle fällt Licht auf den Beleg, der auf eine Lesetrommel gespannt ist, wird dort reflektiert und über ein Linsen- und Prismensystem einer umlaufenden Rasterscheibe (Nipkow-Scheibe) zugeleitet. Diese enthält spiralenförmig angeordnete kleine, quadratische Löcher und zerlegt das Bild in ein Linienraster. Zwischen der Rasterscheibe und einer Photozelle ist eine Schlitzblende angeordnet, welche die Länge der Rasterlinien auf die Schlitzbreite begrenzt. Da sich das zu lesende Zeichen auf dem Beleg synchron mit der Rasterscheibe an der feststehenden Schlitzblende vorbeibewegt, greift jede Spirale aus dem Gesamtbild eine Zeile heraus, die ihrerseits wieder durch die Löcher der Spirale in kurze Linienstücke zerlegt wird. Das Zusammenwirken von Rasterscheibe und Blende bei durchlaufendem Beleg hat also praktisch denselben Effekt, als wenn ein stillstehender Beleg Zeile für Zeile nacheinander abgetastet würde. Im Bild 17 c links ist dieser Vorgang für die Abtastung der 2. Zeile nochmal angedeutet. Jedes Loch der Rasterscheibe überstreicht ein schmales, senkrecht verlaufendes Linienstück. Zur Zeit $t = t_1$ beginnt die Abtastung eines Zeichenteils der Ziffer 8, bei $t = t_2$ ist sie beendet.

In der Photozelle lösen die abgetasteten Linienstücke elektrische Signale aus, die analog der Bildschwärzung sind. Diese analogen Videosignale werden zur weiteren Auswertung quantisiert und digitalisiert. Außerdem führt man eine Datenreduzierung durch; denn eine hohe Bildauflösung durch die Rasterscheibe ist zwar zur besseren Zeichenerkennung und Störelimination erwünscht, für den anschließenden Schriftprobenvergleich anhand gespeicherter Bitmuster in dem Maße aber nicht notwendig. Logische Glieder fassen die Abtastergebnisse von je vier Linienstücken zu einer sog. Zelle zusammen und berücksichtigen bei der Entscheidung, ob diese Zelle als weiß oder schwarz anzusprechen ist, auch die Abtastergebnisse benachbarter Zellen. Auf diese Weise lassen sich Störungen des Bildkontrasts durch helle oder dunkle Punkte oder Flecken besser eliminieren. Das so gewonnene grobe Impulsmuster des abgetasteten Zeichens wird nun synchron mit der umlaufenden Rasterscheibe taktweise einem Schieberegister zugeleitet und dort als Bitmuster nachgebildet. Bild 17 c rechts zeigt das Bitmuster der Ziffer 8 im Schieberegister gegen Ende des Abtastvorganges. Der Vergleich mit den gespeicherten Bitmustern gültiger Zeichen wird über logische Verknüpfungen durchgeführt. Hierfür steht pro Zeichen nicht nur ein einziges Bitmuster, sondern eine Vielzahl verwandter Muster zur Verfügung, wie sie beim Durchlauf des Zeichens durch das Schieberegister in verschiedenen Zeitpunkten oder bei versetztem Zeichendruck entstehen könnten. Jedes dieser Muster kann zur Erkennung des Zeichens führen. Mit diesem Verfahren lassen sich Lesegeschwindigkeiten von ca. 500 Zeichen pro Sekunde erreichen.

Handschriftleser

Am schwierigsten ist die maschinelle Erkennung handgeschriebener Zeichen durchzuführen, da hier die Mannigfaltigkeit aller möglichen Formen besonders groß ist [13]. Eine lange Entwicklung auf diesem Gebiet hat jedoch gezeigt, daß es durchaus möglich ist, auch handgeschriebene Zeichen maschinell zu erkennen, wenn nur einige wenige Schreibregeln beachtet werden. Die Zeichen — vorerst nur die arabischen Ziffern 0 bis 9 und die Alphabetzeichen C, S, T, Z und X —

müssen dabei blockschriftartig in zusammenhängenden Linienzügen ohne Schnörkel und Häkchen in vorgedruckte Kästchen geschrieben werden.

Das Erkennungsverfahren arbeitet nach dem Prinzip der Konturenverfolgung [14, 15]. Ein Lichtpunkt tastet in kreisenden Bewegungen die Kontur des zu lesenden Zeichens ab. Aus der Aufeinanderfolge der verschiedenen Richtungswerte bei der Verfolgung der Konturen, die für jedes Zeichen charakteristisch ist, kann man auf das Zeichen selbst schließen. Die zur Erkennung notwendigen Vergleichsmuster entsprechen diesen charakteristischen Aufeinanderfolgen unter gleichzeitiger Berücksichtigung der relativen Lage innerhalb der Zeichen. Im allgemeinen genügt ein Vergleichsmuster für alle Variationsformen einer vorschriftsmäßig handgeschriebenen Ziffer.

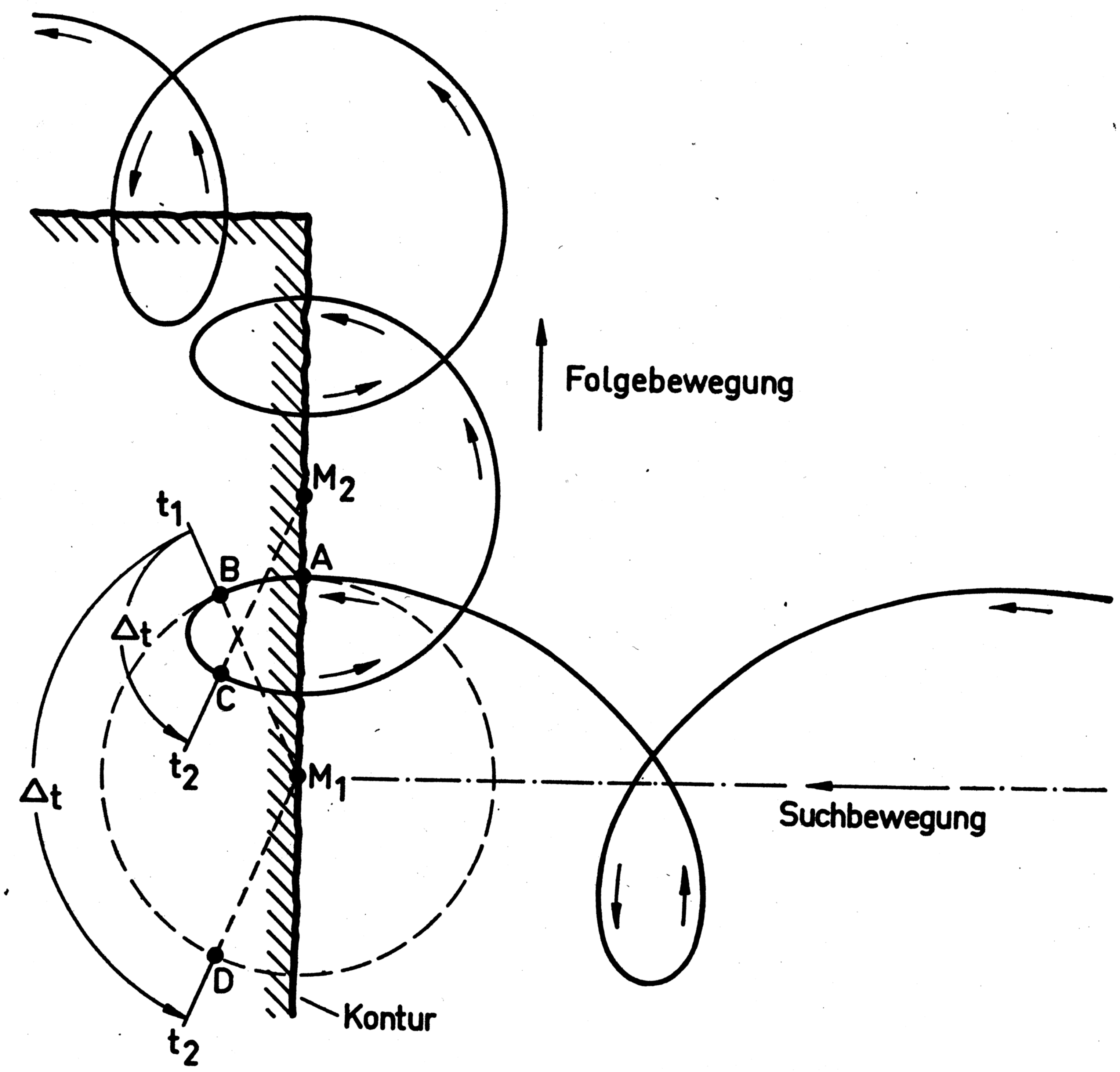


Bild 18. Konturverfolgungsverfahren nach Greanias zur Erkennung handschriftlicher Zeichen

Der abtastende Lichtpunkt wird mit einer Elektronenstrahlröhre erzeugt. Beim Auftreffen des Elektronenstrahls auf dem Bildschirm entsteht ein Lichtpunkt, der über ein Linsensystem auf dem zu lesenden Beleg abgebildet und von dort diffus reflektiert wird. Die Variationen der reflektierten Lichtintensität, die bei der Abtastung eines Zeichens entstehen, setzt eine Photozelle in entsprechende Stromschwankungen um.

Das Abtasten beginnt, wie Bild 18 zeigt, mit einer Suchbewegung des Lichtpunkts. Dieser beschreibt hierbei eine zykloidische Kurve, die durch Überlagerung einer horizontalen Bewegung mit einer Kreisbewegung entsteht. Die Kreisbewegung wird durch zwei um 90° phasenverschobene Sinusspannungen gleicher Amplitude erzeugt, welche an den vertikalen und horizontalen Ablenkplatten der Elektronenstrahlröhre liegen. Die horizontale Bewegung wird durch eine linear veränderliche Spannung an den horizontalen Ablenkplatten hervorgerufen. Sobald der Suchstrahl eine schwarze Kontur erreicht hat, d. h. die Photozelle einen ersten Bildimpuls empfängt, wird die Horizontalbewegung abgeschaltet (Punkt A in Bild 18). Die Kreisbewegung hingegen ist nach wie vor wirksam und würde ohne zusätzliche Maßnahmen einen Kreis um den Mittelpunkt M_1 zeichnen. Wenn man jedoch kurz nach Eintauchen in die dunkle Kontur während eines kurzen Zeitintervalls Δt, beispielsweise von t_1 bis t_2, die Kreisbewegung verzögert und die Ablenkspannungen verringert, so wird zur Zeit t_2 nicht der Punkt D, sondern der Punkt C erreicht. Anstelle des Kreisbogens B-D wird das Kurvenstück B-C durchlaufen. Das hat aber praktisch denselben Effekt, als wenn der Kreismittelpunkt M_1 entlang der Kontur nach M_2 verschoben worden wäre. Auf diese Weise erzielt man eine zykloidenähnliche Bewegung des Abtaststrahls entlang der Kontur, bis die ganze Figur umwandert ist. In Bild 19 sind die Konturverfolgungskurven einiger handgeschriebener Ziffern auf einem Oszillographen zur besseren Veranschaulichung des Verfahrens noch einmal sichtbar gemacht.

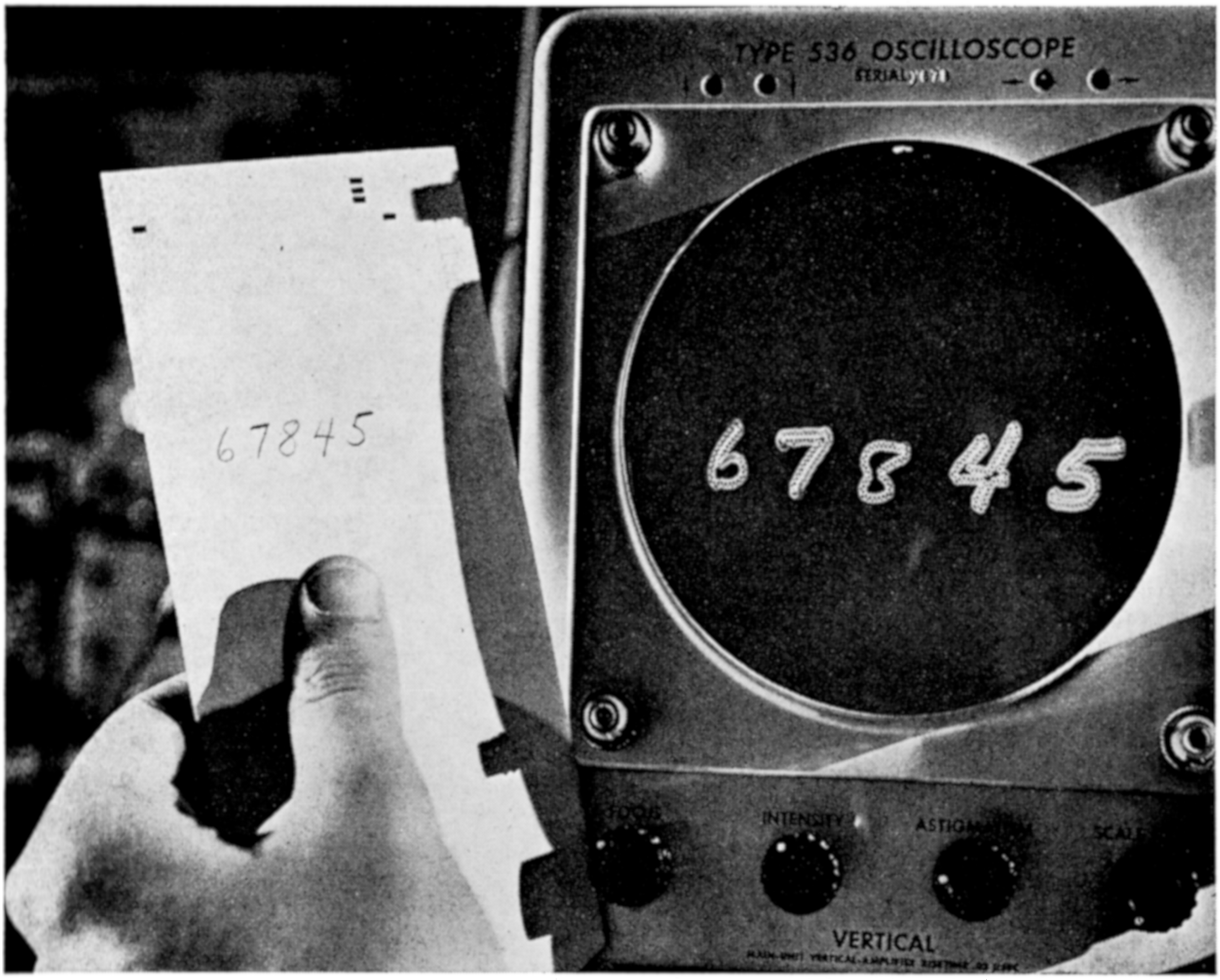


Bild 19. Konturverfolgungskurven handgeschriebener Ziffern

Zur Auswertung des Abtastergebnisses filtert man die hohe Kreisfrequenz aus den Ablenkspannungen heraus und erhält für einen

Umlauf einen Spannungsverlauf nach Bild 20 a, der sich aus den zwei Ablenkspannungen in der x- und y-Richtung (Bild 20 b) zusammensetzt. Die Konturverfolgung verläuft in Pfeilrichtung über die nach gleichen Zeitintervallen überquerten Punkte t = 0, 10, 20, 30, ... Das Zeichenfeld ist in 12 Unterabschnitte eingeteilt, gegeben durch die Feldspalten A, B und C in der x-Richtung, sowie die Feldzeilen 1, 2, 3 und 4 in der y-Richtung. Diese Unterabschnitte werden zur weiteren Auswertung auf das Vorhandensein bestimmter Formkriterien durch Differentiation der x- und y-Spannungen untersucht. Durch logische Verknüpfungen der Differentialquotienten ergeben sich Aussagen über den Richtungsverlauf der Kontur, d. h., in welchen der 45°-Sektoren eines Kreises (Nord, Nordost, Ost etc.) sie an bestimmten Punkten zeigt. Die Aufeinanderfolge der Richtungsverläufe, die charakteristisch für jede Ziffer ist, läßt sich in logischen Schaltungen ermitteln. In Bild 21 ist ein Teil der Erkennungsschaltung für die Ziffer 5 dargestellt. Das Kurvenstück I zu Beginn der Abtastung bei t = 0 ist dadurch gekennzeichnet, daß es entweder nach Osten in der 2. Feldzeile, oder aber nach Osten oder Südosten in der 3. Feldzeile verläuft. Dementsprechend sind in der Erkennungsschaltung ein UND-Schalter für die Bedingungen Ost und Zeile 2, ein UND-Schalter für die Bedingungen Ost oder Südost und Zeile 3 sowie ein ODER-Schalter vorhanden. Sind diese Bedingungen erfüllt, so

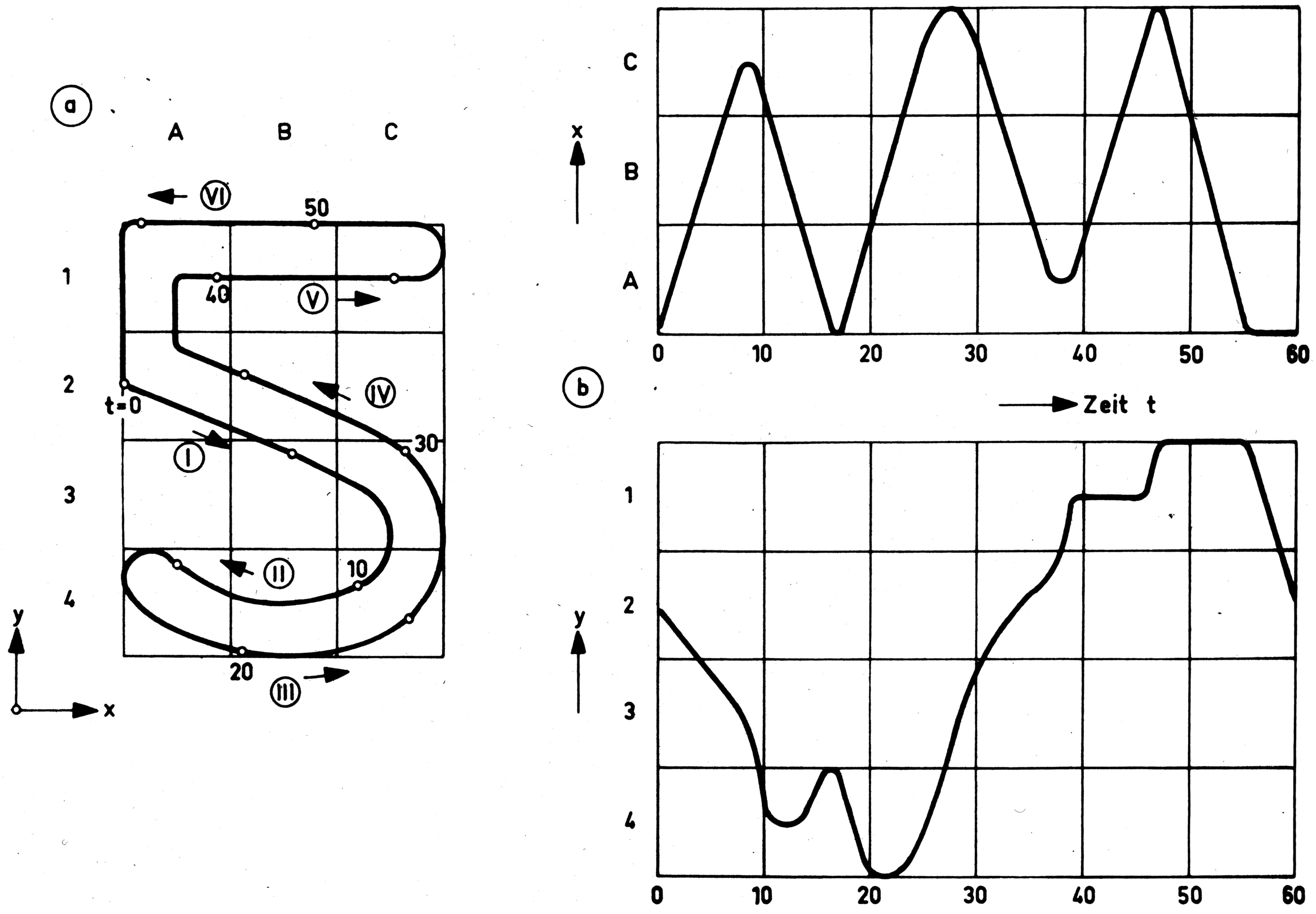


Bild 20. Auswertung der Konturverfolgung. a) Spannungsverlauf für die Ziffer 5, b) Ablenkspannungen in der x- und y-Richtung

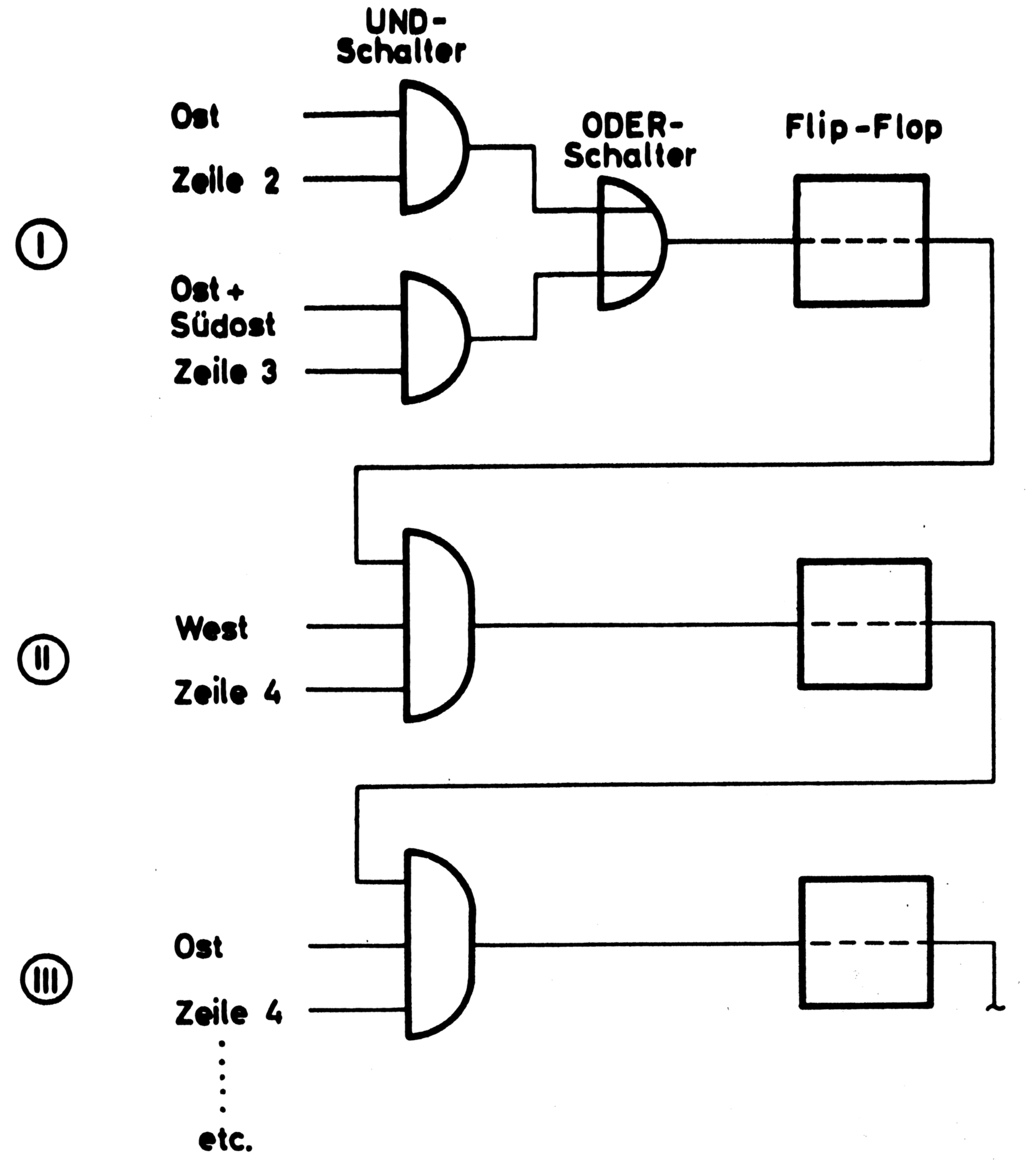


Bild 21. Erkennungsschaltung für die Ziffer 5

wird ein Flip-Flop gesetzt, der das Ergebnis für das Kurvenstück I speichert. Das Kurvenstück II verläuft bei der Ziffer 5 nach Westen und muß in der 4. Feldzeile liegen. Die Erkennungsschaltung enthält deswegen für das Kurvenstück II einen UND-Schalter für drei Bedingungen, erstens Kurvenverlauf wie bei I, zweitens Westrichtung und drittens Lage in der 4. Zeile. In ähnlicher Weise werden die restlichen Kurvenstücke III, IV, V und VI auf das Vorhandensein der für die Ziffer 5 typischen Richtungsmerkmale untersucht.

Vorschriftsmäßig geschriebene Ziffern werden mit einer Sicherheit von 100 % erkannt. Nicht erkennbare, fehlerhaft geschriebene Ziffern weist die Maschine zurück. Sie lassen sich jedoch auf dem Bildschirm einer Sichtanzeige sichtbar machen und manuell über eine Zifferntastatur korrigieren. Die Leseleistung beträgt z. Z. 300 Ziffern pro Sekunde ohne Berücksichtigung der Transportzeit der Belege.

Die Leistungsfähigkeit und Flexibilität moderner Belegleser läßt sich noch bedeutend steigern, wenn man einige der eingangs erwähnten Gruppen der automatischen Zeichenerkennung in einer Maschine miteinander kombiniert. So ist seit einiger Zeit ein Mehrfunktions-Belegleser auf dem Markt, der Markierungen, stilisierte Schriftzeichen und handgeschriebene Ziffern erkennen kann.

c) Drucker

Vom Arbeitsprinzip her lassen sich Druckwerke zunächst in Seriendrucker und Paralleldrucker unterteilen. Das serienweise Drukken, üblicherweise als Schreiben bezeichnet, erfolgt Zeichen für Zeichen nacheinander in einer Schreibzeile. Schreibmaschinen oder Fernschreiber sind typische Vertreter dieser Druckart. Paralleldrucker drucken Zeile für Zeile und werden je nach Art ihrer Typenträger Stabdrucker, Kettendrucker, Walzendrucker usw. genannt [16]. Beide Druckwerktypen sind in Datenverarbeitungsanlagen anzutreffen. Elektrische Schreibmaschinen werden als Konsol-Schreibmaschinen eingesetzt. Sie dienen sowohl zur Dateneingabe als auch zur Datenausgabe und werden in der Hauptsache zum Herausschreiben kurzer Texte wie Diagnostiklisten, Zwischenergebnisse usw. verwendet. Ihre Schreibgeschwindigkeit ist relativ gering, sie liegt bei ca. 15 Zeichen pro Sekunde. Zum Herausdrucken großer Datenmengen wie Rechnungen, Lohnzettel, Versandpapiere, Kontoauszüge kommen jedoch nur parallele Schnelldrucker in Frage.

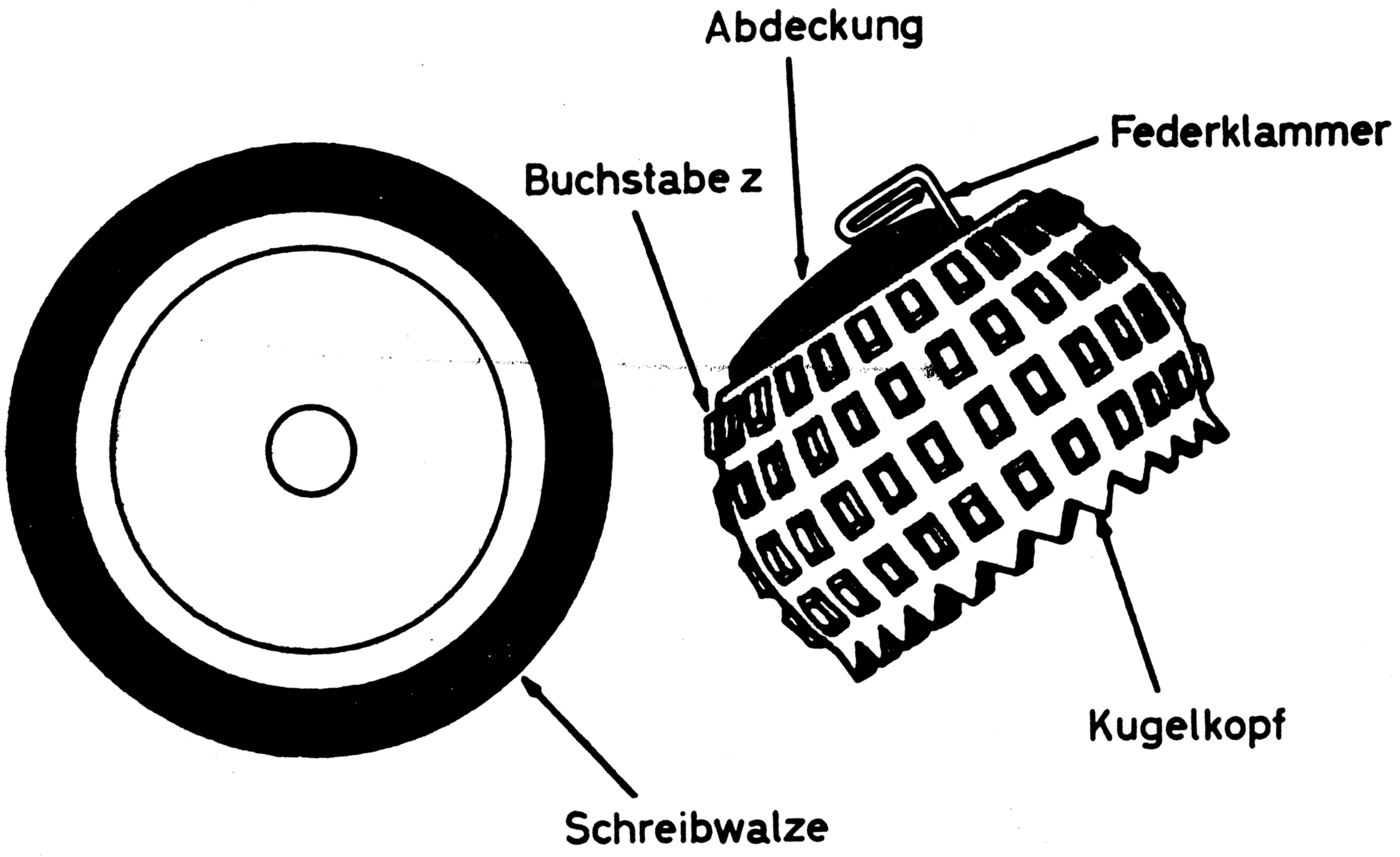
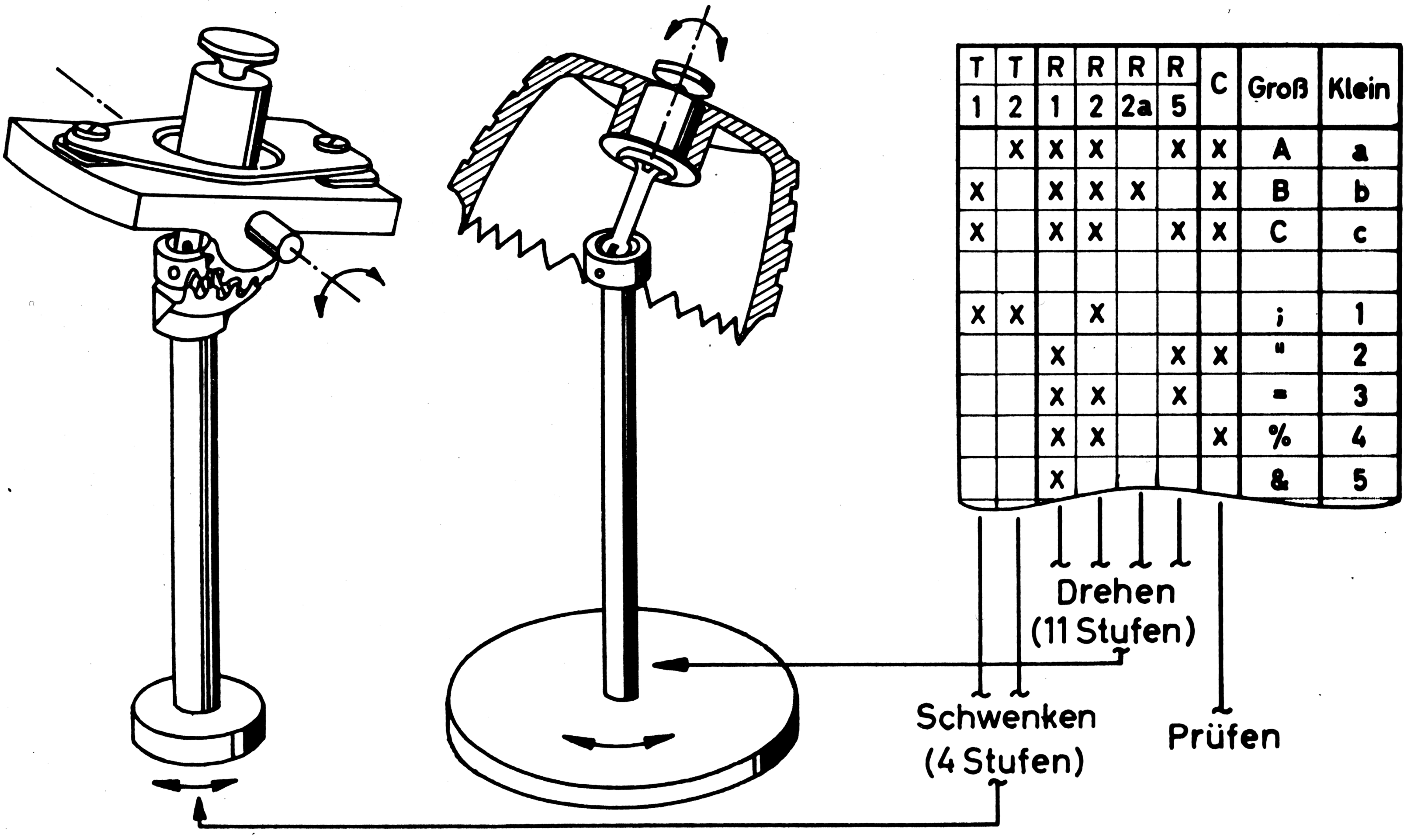


Bild 22.
Schreibkopfmaschine IBM 72.
Schreibprinzip des beweglichen Kugelkopfes

Eine interessante Schreibmaschinenentwicklung der letzten Zeit ist die **Schreibkopfmaschine.** Die Schriftzeichen (Bild 22) sind in 4 Zeilen und 22 Spalten auf einem dreh- und schwenkbaren Kugelkopf angeordnet. Im Gegensatz zu konventionellen Schreibmaschinen steht hier der Schreibwagen fest und der Kugelkopf bewegt sich vor der Schreibwalze Schritt für Schritt entlang der Schreibzeile. Die Schwenkbewegung des Kugelkopfes wird, wie in Bild 23 links angedeutet, mittels einer Hohlwelle und zweier Zahnradsegmente um eine horizontal gelagerte Achse durchgeführt. In der Hohlwelle ist eine weitere Welle gelagert (in Bild 23 nach rechts getrennt herausgezeichnet), welche die Drehbewegung des Kugelkopfes um die angedeutete Drehachse bewirkt. Ein Kugelgelenk ermöglicht eine gleich-



T 1	T 2	R 1	R 2	R 2a	R 5	C	Groß	Klein
	X	X	X		X	X	A	a
X		X	X	X		X	B	b
X		X	X		X	X	C	c
X	X		X				;	1
		X			X	X	"	2
		X	X		X		=	3
		X	X			X	%	4
		X					&	5

Bild 23. Steuerung der Kugelkopfbewegung

zeitige Dreh- und Schwenkbewegung. Gesteuert wird die Kugelkopfbewegung über einen 7-Bit-Code, der auszugsweise rechts im Bild 23 zu sehen ist. 2 Bits mit insgesamt 4 Stufen werden für die Schwenkbewegung und 4 Bits mit insgesamt 11 Stufen für die Drehbewegung verwendet. Zur Großschreibung dreht man den Kugelkopf einfach um 180°. Für die Maschinenfunktionen wie Leerschritt, Schreibkopfrücklauf oder Groß-Klein-Schreibung sind eigene Magnete vorhanden, die gesondert angesteuert werden müssen. Der Maschinencode enthält keine Kombinationen zur Steuerung dieser Maschinenfunktionen. Der Kugelkopf ist mit einem Handgriff auswechselbar. Für manuellen Betrieb ist die übliche Schreibmaschinentastatur vorgesehen. Die Schreibgeschwindigkeit bei automatischem Betrieb beträgt 15,5 Zeichen pro Sekunde.

Neben dem Typendruck wird in steigendem Maße auch die **Matrix-Drahtschrift** für Seriendrucker verwendet. Diese setzt ein Schriftzeichen aus einzelnen Punkten zusammen, die beispielsweise in einer Matrix von 5 × 7 Punkten angeordnet sind. Das Matrix-Schreibwerk besteht aus 35 Schreibdrähten, die am Schreibkopf trichterförmig zu einer Schreibmatrix zusammengefaßt sind (Bild 24). Jeder Schreibdraht trägt am Schreibkopfende eine Verdickung, die gegen ein Farbband drückt, wenn der Schreibdraht am anderen Ende angeschlagen wird. Auf diese Weise lassen sich Buchstaben, Ziffern und Sonderzeichen durch entsprechende Kombinationen der Schreibdrähte formen. Bild 24 rechts zeigt beispielsweise den Buchstaben „A“ in Drahtschrift. Auch der Klartext am oberen Rand der Ziffernkarte in Bild 9 ist mit einem Matrixschreibwerk geschrieben. Die Schreibdrähte können entweder elektromagnetisch oder mechanisch betätigt werden. Bei elektromagnetisch betätigten Schreibwerken ist für jeden der 35 Schreibdrähte eine eigene Magnetspule vorhanden. Mechanisch betätigte Schreibwerke enthalten eine Schreibplatte, auf der sich sämtliche Zeichen als Kombinationen von Erhöhungen und Vertiefungen befinden. Drückt man die Schreibplatte gegen die freien

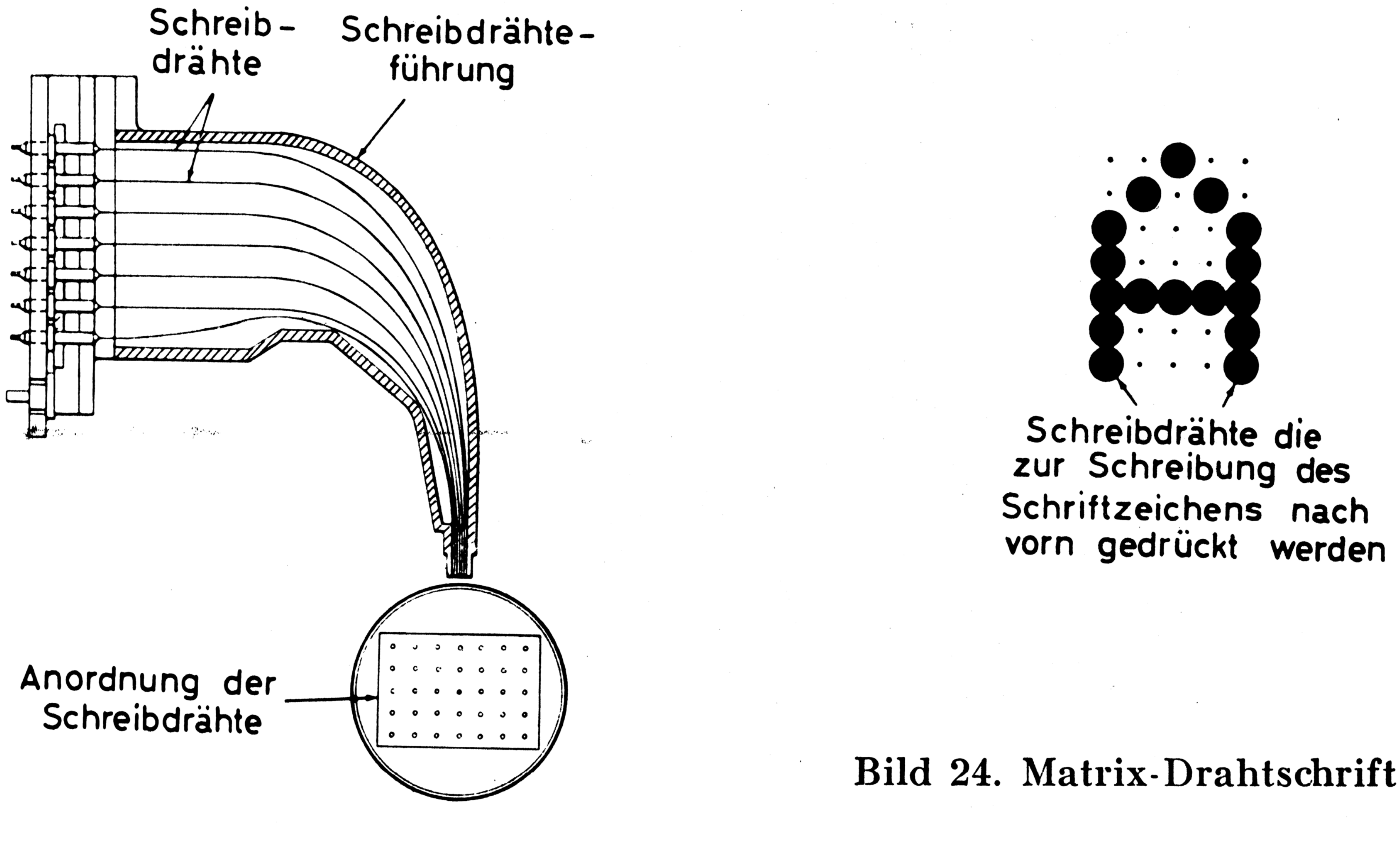

Schreib-drähte
Schreibdrähte-führung
Anordnung der Schreibdrähte
Schreibdrähte die zur Schreibung des Schriftzeichens nach vorn gedrückt werden

Bild 24. Matrix-Drahtschrift

Enden der Schreibdrähte, so lassen nur diejenigen Schreibdrähte einen Abdruck zurück, die auf Erhöhungen der Schreibplatte treffen. Die Erhöhungen bzw. Vertiefungen sind so auf der Schreibplatte verteilt, daß durch entsprechendes Verschieben der Schreibplatte in vertikaler und horizontaler Richtung sämtliche Buchstaben, Ziffern und Sonderzeichen mit nur einer einzigen Schreibplatte geschrieben werden können. Da die Schreibdrähte biegsam sind, lassen sich derartige Druckwerke an nahezu jeder beliebigen Stelle einer Maschine einbauen.

Moderne mechanische **parallele Schnelldrucker** haben durchweg Typenträger, die sich mit konstanter Geschwindigkeit am Papier vorbeibewegen und nach dem Prinzip des „fliegenden Drucks" arbeiten. Der Abdruck erfolgt hierbei dadurch, daß Hämmerchen in dem Zeitpunkt gegen den Typenträger oder das Papier schlagen, wenn die gewünschte Type gerade „vorbeifliegt". Bei den „Frontdruckern" wird der Typenträger von vorn gegen das feststehende Papier geschlagen, bei den „Rückdruckern" wird das frei gespannte Papier gegen die bewegten Typenträger gedrückt. Als Beispiel eines Rückdruckers wird die Wirkungsweise eines Walzendruckers in Bild 25 gezeigt [17, 18]. Eine Typenwalze, die auf ihrem Umfang für jede der 132 Schreibstellen einer Zeile einen vollständigen Satz Drucktypen trägt, läuft ständig um. Für jede Schreibstelle ist ein Druckhammer H vorhanden, der zum Abdruck eines Zeichens das Papier im geeigneten Zeitpunkt gegen die umlaufende Walze schlägt. Die Anschlagenergie wird von einem Stoßrad S geliefert, das mit der Typenwalze starr synchronisiert ist. Ein Auslöseimpuls auf den Magneten bringt über die Schubstange Sch und die Umlenkfeder U die Koppelfeder K in Eingriff mit dem Stoßrad S. Die Koppelfeder wird vom nächsten Zahn des Stoßrades erfaßt und beschleunigt dadurch den Hammer H. Dieser bewegt sich gegen die Walze und bringt nach einem kurzen Wegstück Koppelfeder und Stoßrad außer Eingriff. Die Rückstellfeder F ist damit in der Lage, die Koppelfeder wieder in ihre Ruhestellung zu-

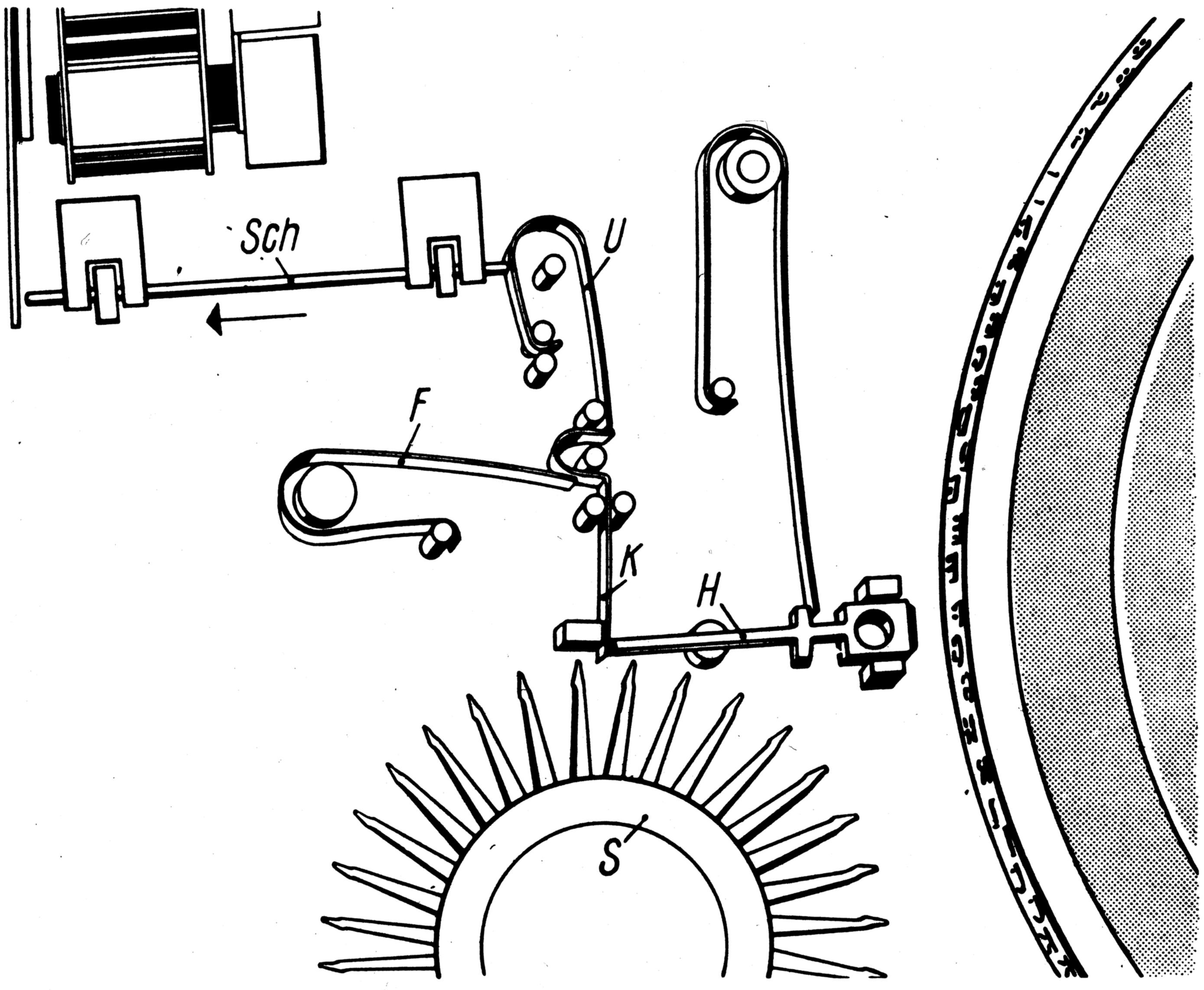


Bild 25. Walzendrucker. Sch - Schubstange, U - Umlenkfeder, K - Koppelfeder, H - Druckhammer, S - Stoßrad, F - Rückstellfeder (nach Unterlagen der Fa. Siemens)

rückzubringen, wenn zwischenzeitlich auch der Auslösemagnet abgefallen ist und die Umlenkfeder U freigegeben hat. Der nächste Zahn kann somit den inzwischen zurückgeprallten Hammer nicht wieder beschleunigen. Dieses Arbeitsprinzip garantiert trotz hoher Druckgeschwindigkeit — 750 Zeilen pro Minute bei alphanumerischem Text mit insgesamt 64 Zeichen und einzeiligem Papiervorschub — einen einwandfreien Schriftstand der Zeile.

Das zeilenweise Paralleldruckverfahren macht es überdies erforderlich, daß die von der Datenverarbeitungsanlage in Serie angelieferten Zeichen so lange zwischengespeichert werden müssen, bis eine ganze Zeile vollständig ist. Die Druckersteuerung enthält somit Pufferspeicher für die Zeichen einer Zeile und liefert die Auslöseimpulse an die Drucksysteme. Einspeichern und Drucken folgen jeweils unmittelbar aufeinander.

Stabdrucker sind meist Frontdrucker. Sie enthalten einen Druckstab als Typenträger. Die Drucktypen sind an federnden Typenfingern angebracht (Bild 26 a) und bewegen sich in einer Schreibzeile, wenn der Druckstab, über eine Zahnstange angetrieben, horizontal hin und her bewegt wird (Bild 26 b). Für jede Schreibstelle ist ein eigener Hammer vorhanden (Bild 26 c), der von vorn gegen den Typenfinger schlägt und somit ein Zeichen zum Abdruck bringt. Ein Haltemagnet pro Druckstelle hält den Hammer in seiner gespannten Stellung. Wird das Magnetfeld zum Abdruck einer Stelle abgeschaltet, so gibt der Magnet den Hammer frei, der von einer Blattfeder angetrieben, in Richtung Typenfinger beschleunigt wird. Nach dem Abdruck einer Zeile werden alle Haltemagnete gemeinsam über eine mechanische Nocke in Richtung Typenfinger bewegt und fassen die freigegebenen Hämmer aus ihrer entspannten Lage wieder auf. Während der anschließenden Rückwärtsbewegung der Haltemagnete spannen sich die Hammerfedern schließlich für einen neuen Abdruck. Die Druckleistung beträgt 300 Zeilen pro Minute für einen Druckstab mit 63 Zeichen und 120 Druckstellen.

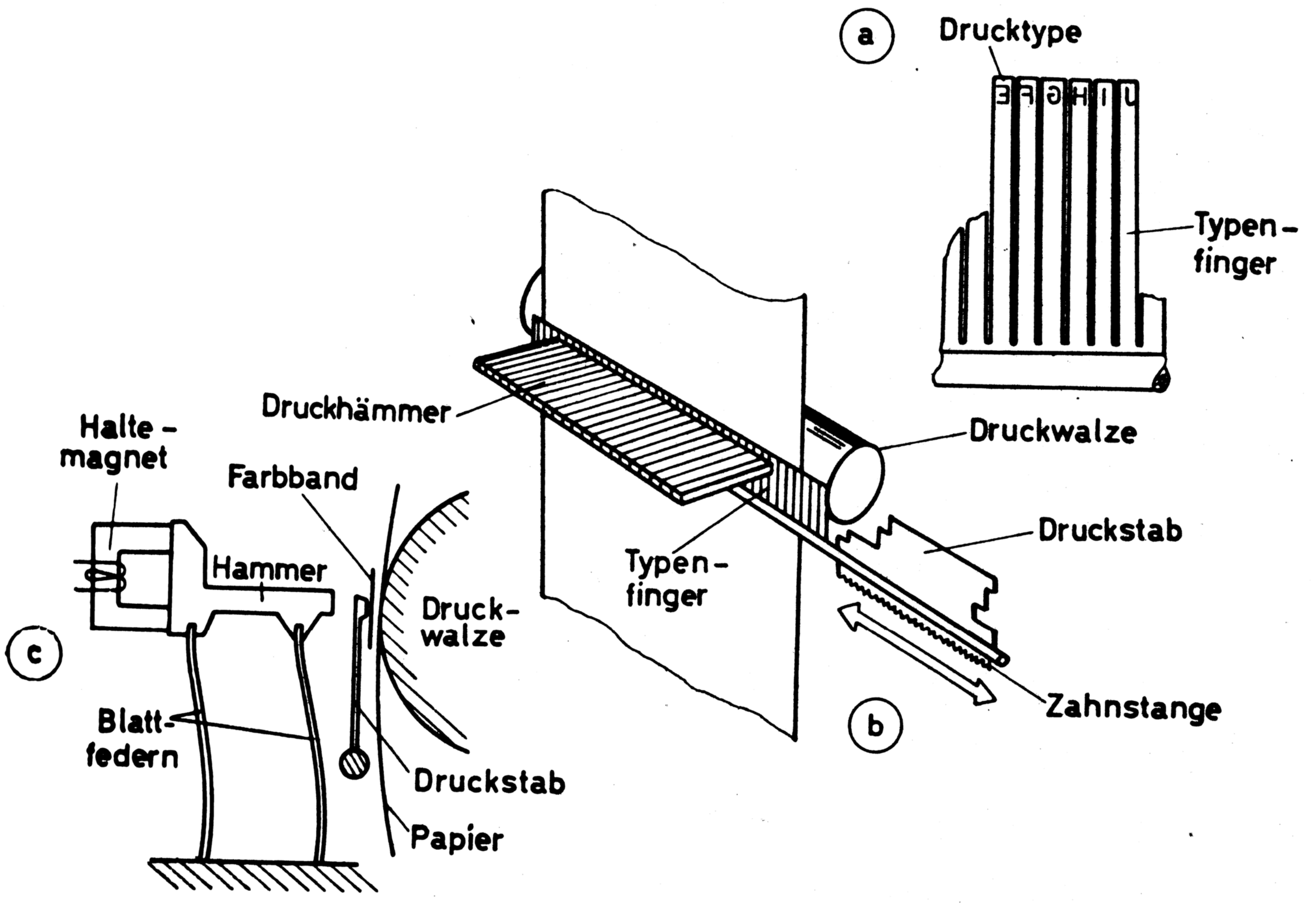


Bild 26. Stabdrucker

Wie bei allen fliegenden Druckverfahren bewegt sich auch hier der Typenträger, der Druckstab, während des Anpressens der Drucktypen gegen Farbband und Papier um ein kleines Wegstück (ca. 0,08 mm). Da die Typenfinger jedoch auch seitlich etwas flexibel sind, hat diese kleine Bewegung keinen Einfluß auf die Sauberkeit des Schriftbildes. Das menschliche Auge ist unempfindlicher gegen horizontales Versetzen oder Verwischen der Typenabdrücke als gegen vertikales, da alle Typen eines Drucksatzes gleich hoch, jedoch nicht gleich breit sind. Im Gegensatz zum Walzendrucker, der für jede Schreibstelle einen vollständigen Satz Drucktypen benötigt, genügt beim Stabdrucker ein einziger Typensatz. Allerdings läßt sich die Druckgeschwindigkeit erhöhen, wenn man zwei oder mehr vollständige Typensätze auf dem Stab vorsieht.

Dieselben Überlegungen gelten für den **Schubgliederdrucker,** dessen Einzelglieder, von zwei Antriebszahnrädern geschoben, auf einer Führungsschiene ständig umlaufen (Bild 27 a). Dieses Druckprinzip ist eine Weiterentwicklung des Kettendruckers, dessen einzelne Typenglieder eine umlaufende Kette bildeten. Mit Schubgliedern können höhere Arbeitsgeschwindigkeiten — in der Größenordnung von 1100 Zeilen pro Minute bei 132 Druckstellen, 5 Typensätzen pro Druckwerk und 48 Zeichen pro Typensatz — erreicht werden als mit Druckketten, da hier nicht die Gefahr des Kettenbruchs durch zu große Zugbelastungen besteht. Jedes Schubglied enthält 3 Zeichen. Pro Druckstelle ist ein Arbeitsmagnet vorhanden (Bild 27 b), der über einen Hammeranschlagstift den Hammer gegen das Papier und die Drucktype schlägt.

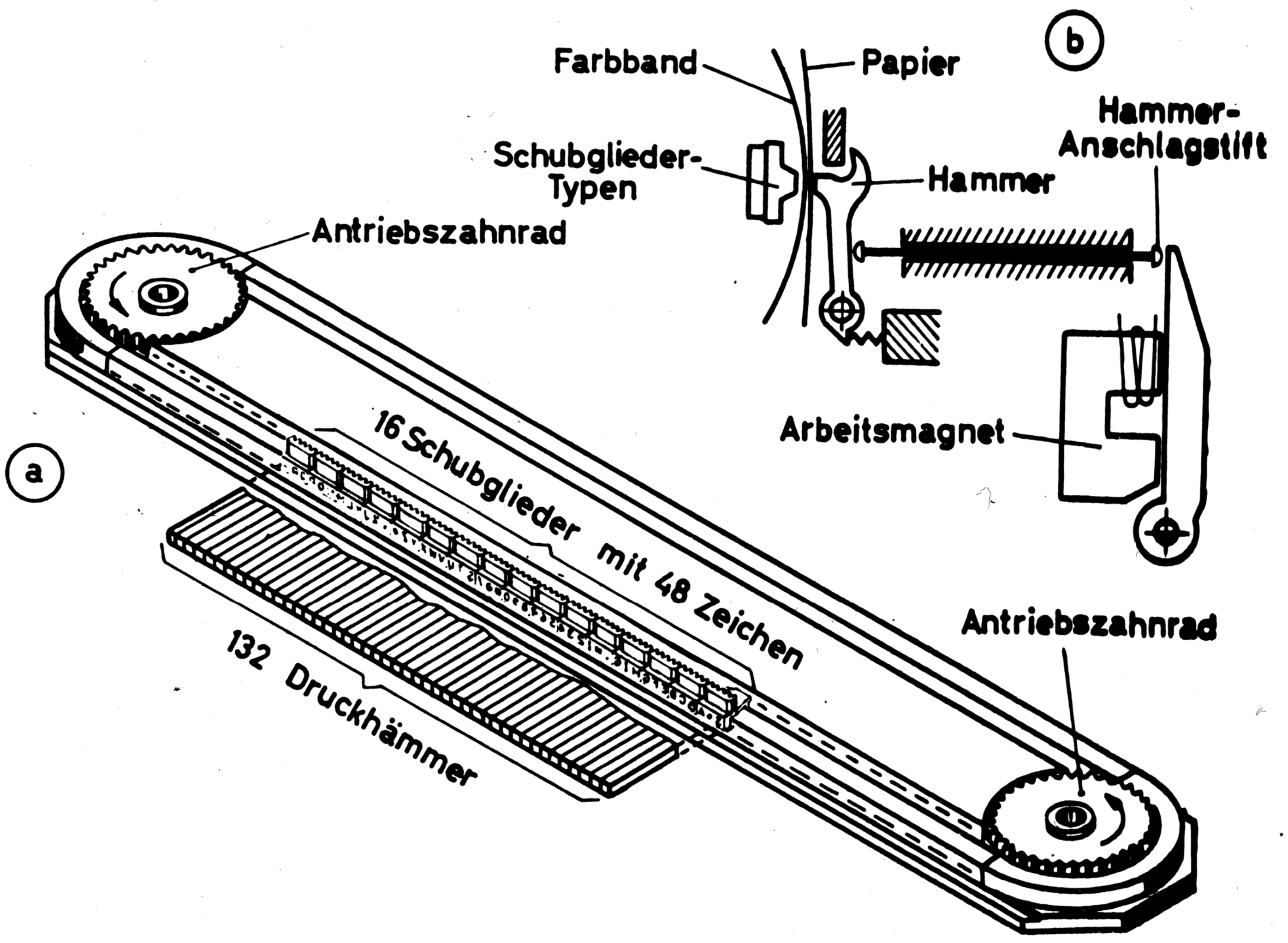


Bild 27. Schubgliederdrucker

Bemerkenswert ist, daß jede der drei beschriebenen mechanischen Schnelldruckertypen eine andere Form der Energiespeicherung zur Betätigung der Druckhämmer verwendet. Beim Walzendrucker ist es die kinetische Energie des rotierenden Stoßrades, beim Stabdrucker die statische Energie einer gespannten Feder und beim Schubgliederdrucker die elektromagnetische Energie eines Stoßmagneten, die den Druckhämmern ihre kinetische Energie verleiht. In jedem Falle ist man jedoch bestrebt, möglichst viel Anschlagenergie in möglichst kurzer Zeit zu möglichst genau definierten Zeitpunkten auf die Druckhämmer zu übertragen; denn Zeitpunkt, Dauer und Energie des Abdrucks bestimmen das Schriftbild eines Druckers. Der Abdruckzeitpunkt muß auf ca. 40 Mikrosekunden genau eingehalten werden, um bei den hohen Typengeschwindigkeiten moderner mechanischer Schnelldrucker — etwa 2 m/s beim Stabdrucker und 5 m/s beim Schubgliederdrucker — einen lagerichtigen Abdruck zu erzeugen. Die Abdruckdauer liegt bei 100 Mikrosekunden [16]. Mit diesem Vorstoß in den Mikrosekundenbereich sind wohl die Leistungsgrenzen mechanischer Schnelldrucker nahezu erreicht. Die genannten Druckleistungen werden vornehmlich unter Zuhilfenahme eines weiteren Prinzips, nämlich der „Vorrang-Typensätze" erreicht. Zunächst enthält der Typenträger den gesamten Satz der zu druckenden Zeichen mehrfach. Statt nun einfach den ganzen Satz mehrere Male (beim Schubgliederdrucker z. B. 5mal) zu wiederholen, werden häufig benötigte Zeichen öfter wiederholt als andere. Einfachstes Beispiel ist ein Verhältnis von 2:1 der numerischen gegen die alphabetischen Zeichensätze. Zeilen mit nur numerischen Informationen können damit praktisch doppelt so schnell gedruckt werden wie alphabetische Zeilen. Für große Zeichensätze wie z. B. Katakana (japanisches Silbenalphabet) + lateinisches Alphabet + numerische Zeichen empfiehlt sich eine Vorrang-Typenanordnung besonders, um die Druckdauer pro Zeile nicht voll proportional zum Zeichensatz-Umfang anschwellen zu lassen.

Zwischen Walzendruckern und Schubgliederdruckern besteht ein Unterschied bezüglich der Steuerung und Pufferung: Bei Walzendruckern besteht eine feste Zuordnung zwischen dem Drehwinkel der Walze und der Zeitsteuerung für ein bestimmtes zu druckendes Zeichen, die für alle Druckstellen dieselbe ist. Bei Ketten- und Schubgliederdruckern ist der Druckzeitpunkt nicht nur eine Variable, die von der Maschinenzeit abhängt, sondern auch noch von der jeweiligen Druckposition. Gleiche Zeichen werden beim Walzendrucker gleichzeitig in allen Druckstellen, bei Ketten- und Schubgliederdruckern zu den jeweiligen Durchgangszeiten der (mehrfach verteilt vorhandenen) Type durch die Druckstellen gedruckt. Die dadurch bedingte komplexere Zeitsteuerung kann mit Hilfe eines synchron zum Typensatz im Pufferspeicher mitlaufenden elektronischen Abbilds der Kette bzw. der Schubglieder nicht nur bedeutend vereinfacht werden, sondern macht die Drucksteuerung invariant gegen beliebige Code-Zuordnungen zu den Druckzeichen. Der Typensatz einer Kette samt seiner Codierung wird bei Austausch der Kette in den Pufferspeicher aufgenommen, welcher damit Eigenschaften von Steuerspeichern annimmt.

Bedeutende Steigerungen der Druckleistung sind nur noch mit nichtmechanischen Druckverfahren zu erzielen [19]. Die Erzeugung bzw. Übertragung der Schriftzeichen auf den Aufzeichnungsträger geschieht hier ohne Zuhilfenahme mechanisch bewegter Teile. Nur der Papiertransport und u. U. gewisse Hilfsfunktionen müssen mechanisch ausgeführt werden. Zwei Methoden der Schriftzeichenerzeugung sind hierbei besonders hervorzuheben. Die eine setzt, ähnlich der Matrix-Drahtschrift, ein Zeichen aus einzelnen Punkten zusammen, die andere verwendet Schriftzeichenmasken, die von Licht oder Elektronen durchstrahlt werden und hierbei kontinuierliche Schriftzeichen formen.

Mit Matrixdruckern lassen sich bereits Druckgeschwindigkeiten erzielen, die bei 32 000 Zeilen pro Minute liegen [20]. Eine bekanntgewordene Ausführungsform enthält in einer Reihe 600 Schreibspitzen in Gruppen von je fünf, die insgesamt 120 Zeichen pro Zeile liefern. Während sich das Papier bewegt, werden die Schreibspitzen 7 mal hintereinander selektiv in gleichen Zeitabständen von Spannungsimpulsen beaufschlagt und bilden auf diese Weise eine Matrix von 5 × 7 Punkten. Der Zeichenvorrat beträgt 64 Schriftzeichen. Bei Verwendung von elektrosensitivem Papier erfolgt eine Funkenentladung, die geschwärzte Punkte hinterläßt und keine weitere Entwicklung notwendig macht. Elektrostatische Systeme bringen auf dem Papier zunächst punktweise Ladungen auf. In einem nachfolgenden Entwicklungsgang durchläuft das Papier eine Kammer mit staubförmigen, elektrisch geladenen Tintenteilchen, die an den Punktladungen haften bleiben und diese einschwärzen. Anschließend wird der Tintenstaub durch Hitze dauerhaft auf dem Papier fixiert (Xerographie). Das Papier führt man alternativ von zwei Eingaberollen zu und faltet es zickzack-förmig auf der Ausgabeseite.

Gute Schriftqualität liefern nichtmechanische Schnelldrucker, die mit Schriftzeichenmasken arbeiten. Die Masken für die einzelnen Schriftzeichen sind auf einem Plättchen, z. B. in einer 8 × 8-Matrix, angeordnet. In einem **„Videograph“** genannten Gerät [20] liegt das Matrixplättchen im Strahlengang einer Elektronenstrahlröhre. Der Elektronenstrahl wird durch horizontale und vertikale Ablenkplatten in üblicher Weise in eine der 64 Stellungen positioniert. Digital-Analog-Umsetzer liefern die hierzu notwendigen Ablenkspannungen durch Umsetzen der digital codierten Schriftzeichen. Das Schriftbild wird wie bei dem eben beschriebenen xerographischen Verfahren auf das Papier gebracht, das am Bildschirm der Elektronenstrahlröhre entlanggleitet. Die Druckgeschwindigkeit eines solchen Videographen liegt bei 7200 Zeilen pro Minute.

Schriftzeichenmasken sollen auch in elektro-optischen Druckern verwendet werden, die in letzter Zeit konzipiert worden sind. Die Positionierung eines polarisierten Licht- oder Laserstrahls erfolgt mit Hilfe binärer Lichtschalter. Dies sind Kristalle, z. B. Kalium-Dideuterium-Phosphat, die effektiv den Strahlengang verändern, wenn an sie eine elektrische Spannung gelegt wird. Man hofft, hiermit Schreibgeschwindigkeiten von mehr als 100 000 Zeichen pro Sekunde erreichen zu können [21, 22].

2. Ein/Ausgabegeräte für die Datenfernverarbeitung

Mit Datenfernverarbeitung bezeichnet man eine Art der Datenverarbeitung, bei der die Daten am Ort ihrer Entstehung in geeigneten Datenstationen erfaßt und mit Einrichtungen der Nachrichtentechnik über beliebige Entfernungen zu einer zentralen Datenverarbeitungsanlage übertragen werden. Das Ergebnis der Verarbeitung wird auf demselben Weg an die Datenstationen zurückübertragen. Ein Datenfernverarbeitungssystem besteht somit aus Einheiten für die Datenein- und -ausgabe (Datenstationen), aus den Übertragungswegen wie Fernschreib- oder Fernsprechleitungen und aus der zentralen Datenverarbeitungsanlage mit Datenendeinrichtungen (Bild 28). Wenn die Datenübertragung die Grenzen des eigenen Grundstücks überschreitet, sind in der Regel Einrichtungen der Deutschen Bundespost zu benutzen. Die Deutsche Bundespost stellt für diese Zwecke für den Wählverkehr ihre öffentlichen Telex- und Fernsprechnetze zur Verfügung [23, 24]. Daneben steht seit 1. 1. 1967 ein spezielles Netz, das Datex-Netz, zur Verfügung, in dem eine Übertragungsgeschwindigkeit von 200 Bit/s möglich ist. Außerdem überläßt die Bundespost fest geschaltete Telegraphie-, Fernsprech- und Breitbandleitungen auf besonderen Antrag. Die hier zugelassenen Geschwindigkeiten sind 50, 100 und 200 Bit/s auf Telegraphenleitungen und 200 bzw. 600/1200 Bit/s auf Fernsprechleitungen. In Sonderfällen wurden Breitbandleitungen für 40 000 Bit/s und 200 000 Bit/s zur Verfügung gestellt.

Die Datendienste der Deutschen Bundespost haben bereits einen beträchtlichen Umfang angenommen und werden Zug um Zug weiter ausgebaut. Das Deutsche Telexnetz bietet mit seinen rund 60 000 Anschlüssen die höchste Telexanschlußdichte der Welt. Auch das öffentliche Fernsprechnetz der DBP, das mit einer Sprechstellendichte von rund 15 Sprechstellen/100 Einwohner eine gute Fernmeldeinfrastruktur bietet, wurde der Datenübertragung zugänglich gemacht, wobei die DBP den Teilnehmern Modulationsgeräte (Modems) zur Anpassung an die Übertragungswege bereitstellt. Neben den rein technischen Möglichkeiten wurden die gesetzlichen und verwaltungstechnischen Voraussetzungen (Benutzungsbedingungen, Gebühren usw.) geschaffen, so daß auch von dieser Seite aus der Datenfernverarbeitung die Wege geebnet sind.

Datenstationen sollen möglichst universell einsetzbar sein. Die verschiedenen technischen und kommerziellen Einsatzgebiete bedingen aber unterschiedliche Geräte. Die Skala reicht von Fernschreibern über Lochstreifen- und Lochkartengeräte, Drucker, Geräte zur Prozeßdatenverarbeitung bis zu Magnetbandgeräten und Einrichtungen zur digitalen Bildübertragung. Man ist deswegen bestrebt, wenigstens die Steuerung des Datenflusses zwischen Zentrale und Datenstation so weit als möglich nach einheitlichen Gesichtspunkten zu gestalten. Dies geschieht — zur Zeit noch firmenintern — mit Hilfe einheitlich aufgebauter Steuereinheiten, einer standardisierten Übertragungssteuerung und genormter Übertragungsarten und Codes.

Steuereinheiten in den Datenstationen steuern den Datenfluß innerhalb der Station und von bzw. zu der Zentrale. Sie schalten die einzelnen Geräte der Station ein und aus, führen Prüfungen durch, sorgen für die Anpassung der verschiedenen Gerätecodes an den Übertragungscode, liefern die Stromversorgung für die Datenstationen und anderes mehr. Auch in der Zentrale sind ähnliche Datenübertragungskontrolleinheiten vorhanden. Sie stellen die Verbindung zwischen den Fernleitungen und den Datenkanälen der Zentraleinheit her. Außerdem werden in diesen Steuereinheiten die Unterschiede zwischen den Übertragungsgeschwindigkeiten auf den Leitungen und den Kanälen der Datenverarbeitungsanlage ausgeglichen. Die Kanäle arbeiten ca. hundertmal schneller als die Übertragungsleitungen. Durch Zwischenschaltung von Pufferspeichern zwischen jede Fernleitung und dem Kanal ist es somit möglich, auf mehreren Leitungen gleichzeitig zu senden oder zu empfangen, während die Übertragung im Kanal im Zeitmultiplexbetrieb durchgeführt wird. Das Senden und Empfangen von Nachrichten wird durch Makrobefehle wie „Lesen“ oder „Schreiben“ in der Zentraleinheit ausgelöst. Da die Datenübertragung im allgemeinen halbduplex durchgeführt wird, ist eine Steuerung des Datenflusses auf den Leitungen erforderlich. Diese „Leitungssteuerung“ er-

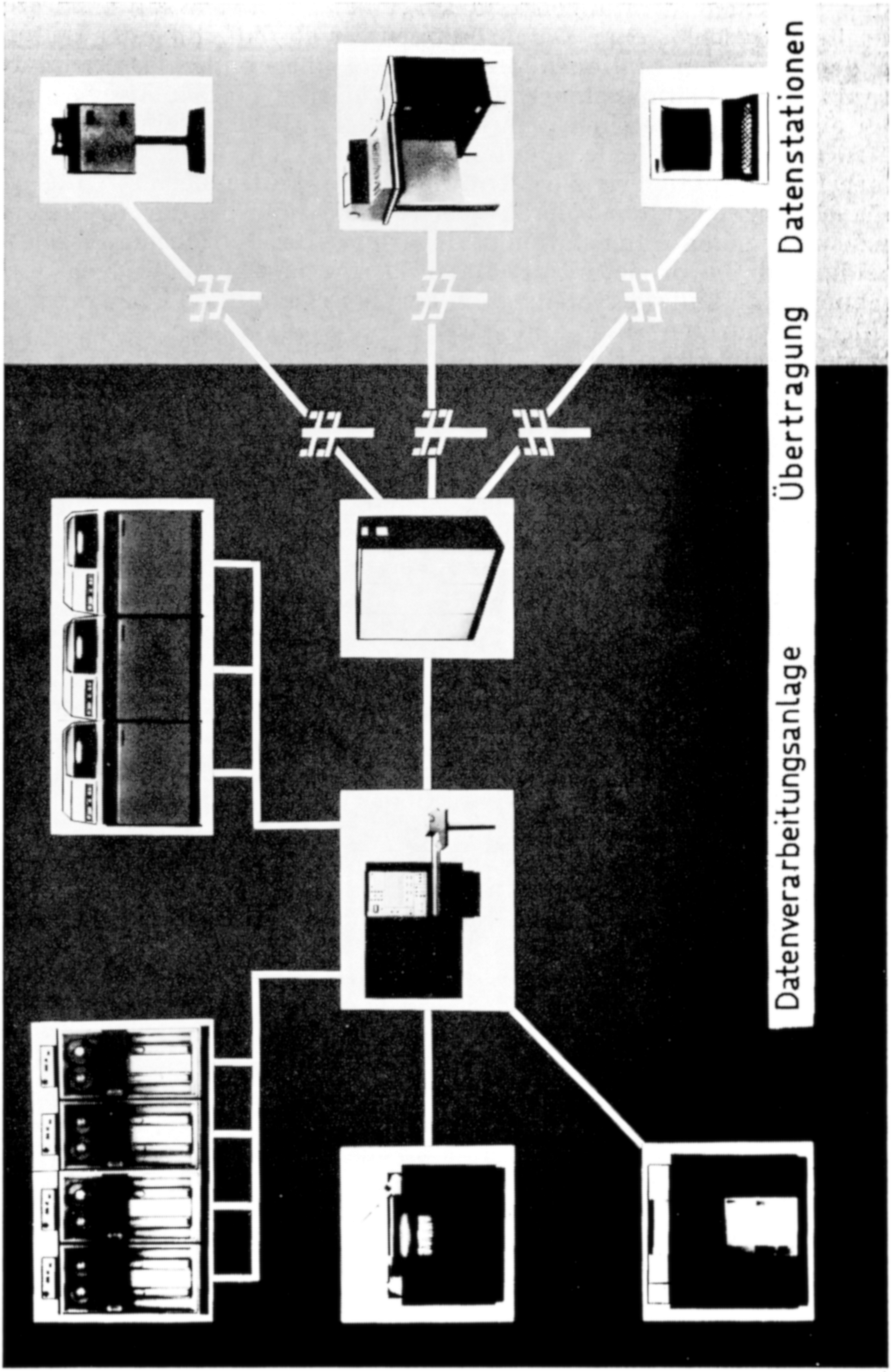

Datenverarbeitungsanlage
Übertragung
Datenstationen

Bild 28. Datenfernverarbeitung. Systemübersicht möglicht die Einleitung einer Übertragung sowie die Datenübertragung in beiden Richtungen und sorgt bei Leitungen mit mehreren parallel angeschlossenen Datenstationen für die Zuteilung der Leitung zu den einzelnen Stationen. In der Regel übernimmt das Kanalprogramm diese Leitungssteuerung. Es enthält zu diesem Zweck außer den eigentlichen Befehlen zum Lesen oder Schreiben eine Reihe zusätzlicher Steuerbefehle. Zum „Schreiben“, d. h. zum Senden von Nachrichten, aktiviert die Zentrale durch „Adressierung“ die gewünschte Datenstation. Hierzu überträgt sie zunächst die Adresse der anzusprechenden Datenstation und wartet deren Betriebsbereitschaftsmeldung ab, bevor sie mit der Datenübertragung beginnt. Nach Übertragungsende teilt die Datenstation der Zentrale mit, ob Übertragungsfehler aufgetreten sind, und leitet auf diese Weise eine eventuelle Wiederholung der Übertragung ein.

Werden keine Nachrichten gesendet, so stellt die Zentrale durch „Abruf“ fest, ob eine Datenstation Nachrichten abzusetzen hat, da Datenstationen von sich aus keine Übertragung einleiten können. Der Abruf erfolgt an Hand einer Abrufliste, die nach Prioritäten gestaffelt alle angeschlossenen Datenstationen enthält. Ein Leitungs- und Betriebsbereitschaftstest ist mit diesem Abfragen automatisch verbunden. Im Falle einer „positiven“ Rückantwort leitet die Zentrale die Datenübertragung ein und führt auch alle notwendigen Prüfungen durch. Ist die Rückantwort „negativ“, so wird die nächste Datenstation auf der Abrufliste abgefragt. Die Steuerfunktionen „Adressieren“ bzw. „Abrufen“ werden wie das Senden oder Empfangen von Nachrichten für alle Leitungen bei Bedarf durchgeführt, so daß auch diese Vorgänge auf allen angeschlossenen Leitungen praktisch parallel ablaufen.

Eine gesicherte Datenübertragung ist, wenn irgend möglich, anzustreben. Hierzu dienen prüfbare Codes mit einer Prüfung auf z. B. ungerade Bitzahlen pro Zeichen vermittels eines zusätzlichen Prüfbits. Außerdem wird vielfach auch eine Längsprüfung aller Übertragungen durchgeführt. Hierzu zählt man z. B. auf der Sendeseite sämtliche Bits eines Datenblocks und bildet hieraus, vielfach nach Restklassenverfahren, eine Prüfziffer, die als letztes Zeichen des Datenblocks übertragen wird. Auf der Empfangsseite werden Zählung und Prüfziffernbildung wiederholt und mit der empfangenen Prüfinformation verglichen. Bei Nichtübereinstimmung wird die Übertragung wiederholt.

Eine wesentliche Besonderheit der Datenfernverarbeitung ist die Bildung von Warteschlangen. Sie entstehen, wenn in einem gegebenen Zeitabschnitt mehr Nachrichten angeboten werden als verarbeitet werden können. Die Zentrale muß sämtliche Nachrichten zunächst aufnehmen, sie entsprechend ihrer Priorität in einer Warteschlange gruppieren und nacheinander abarbeiten. Dies geschieht mit Hilfe besonderer Kontrollprogramme, die die Verbindung zwischen der Datenein- und -ausgabe und der Datenverarbeitung herstellen.

Datenstationen lassen sich bezüglich der Übertragungsgeschwindigkeit in folgende Gruppen einteilen:

1. Stationen mit Fernschreibern und ähnlichen Geräten, die mit 50 Bit/s arbeiten.

2. Stationen mit Lochkarten- und Lochstreifengeräten, Druckwerken, Tastaturen usw. mit Geschwindigkeiten bis zu 200 Bit/s.
3. Stationen mit Geräten, die Informationen zwischen Pufferspeichern oder maschinenlesbaren Speichermedien wie Magnetbändern austauschen und bis zu 1200 Bit/s übertragen.
4. Stationen mit Geräten für noch höhere Geschwindigkeiten, wie die digitalisierte Bildübertragung.

a) Geräte für Übertragungsgeschwindigkeiten bis maximal 200 Bit/s

Der Betrieb von Fernschreibern innerhalb eines Datenfernverarbeitungssystems bildet insofern eine Ausnahme, als die Übertragung im allgemeinen ungesichert erfolgt. Auch wird der Übertragungsrhythmus bei dem hier üblichen Start-Stop-Betrieb nicht von der Zentrale, sondern von der sendenden Maschine bestimmt. Es sind also gewisse technische und organisatorische Maßnahmen zu treffen, um einen reibungslosen Arbeitsablauf zu gewährleisten. Hierzu gehören der Einbau von Anschlußeinheiten, die Einführung von Datensicherungsmethoden wie Kontrollroutinen, Einfügen von Prüfziffern, zweimaliges Übertragen von Zahlenwerten und anderes mehr.

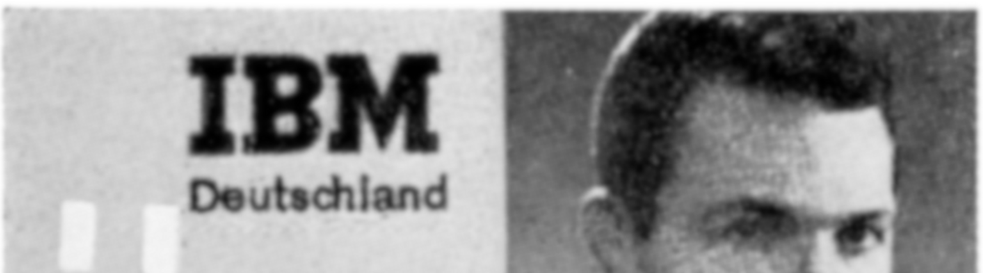


Bild 29. Plastikausweis

Zum Datenaustausch zwischen Filialen, Zweigwerken, Lagern oder Betriebsabteilungen und einem zentralen Datenverarbeitungssystem ist eine ganze Reihe neuer Geräte oder Zusätze zu bereits gebräuchlichen Einrichtungen entwickelt worden.

Mit Hilfe von Registriergeräten läßt sich die Anwesenheitskontrolle bei Verwendung von maschinenlesbaren Ausweisen bedeutend vereinfachen. Der Ausweis (Bild 29) besteht aus Plastikmaterial, hat die Form einer kurzen Lochkarte und enthält außer einem Lichtbild des Inhabers und Angaben zur Person in Klarschrift ein zehnstelliges Lochfeld. Hier sind die Personalangaben eingelocht und können wie Lochkarten abgefühlt, übertragen und zusammen mit der jeweiligen Uhrzeit ausgewertet werden.

Zur schnellen Eingabe variabler Daten wurden Register entwickelt. Sie haben, wie Bild 30 zeigt, etwa die Größe einer Lochkarte und enthalten 12 Schieber, an denen neben einer Leerstellung die Ziffern 0 bis 9 manuell eingestellt werden können. Sie werden in ein Lesegerät eingesteckt, das die Positionen der 12 Schieber abfühlt und als digitale Werte überträgt. Register haben gegenüber Tastaturen den Vorteil, daß sich in der gleichen Zeiteinheit wesentlich mehr Daten übertragen lassen. Die Zeit zum Eintasten entfällt und die Warteschlangenbildung an der Eingabestation wird hierdurch verringert. Außerdem lassen sich Eintastfehler vermeiden, da eine visuelle Überprüfung der Registereinstellung vor der Übertragung vorgenommen werden kann. Register lassen sich z. B. vorteilhaft in Fertigungsbetrieben zur Leistungserfassung bei Schichtende verwenden: Jeder Mitarbeiter stellt am Register die geleistete Menge, Kostenstelle und Auftragsnummer ein und steckt es zusammen mit seinem Plastikausweis nach Arbeitsschluß in ein kombiniertes Lesegerät.

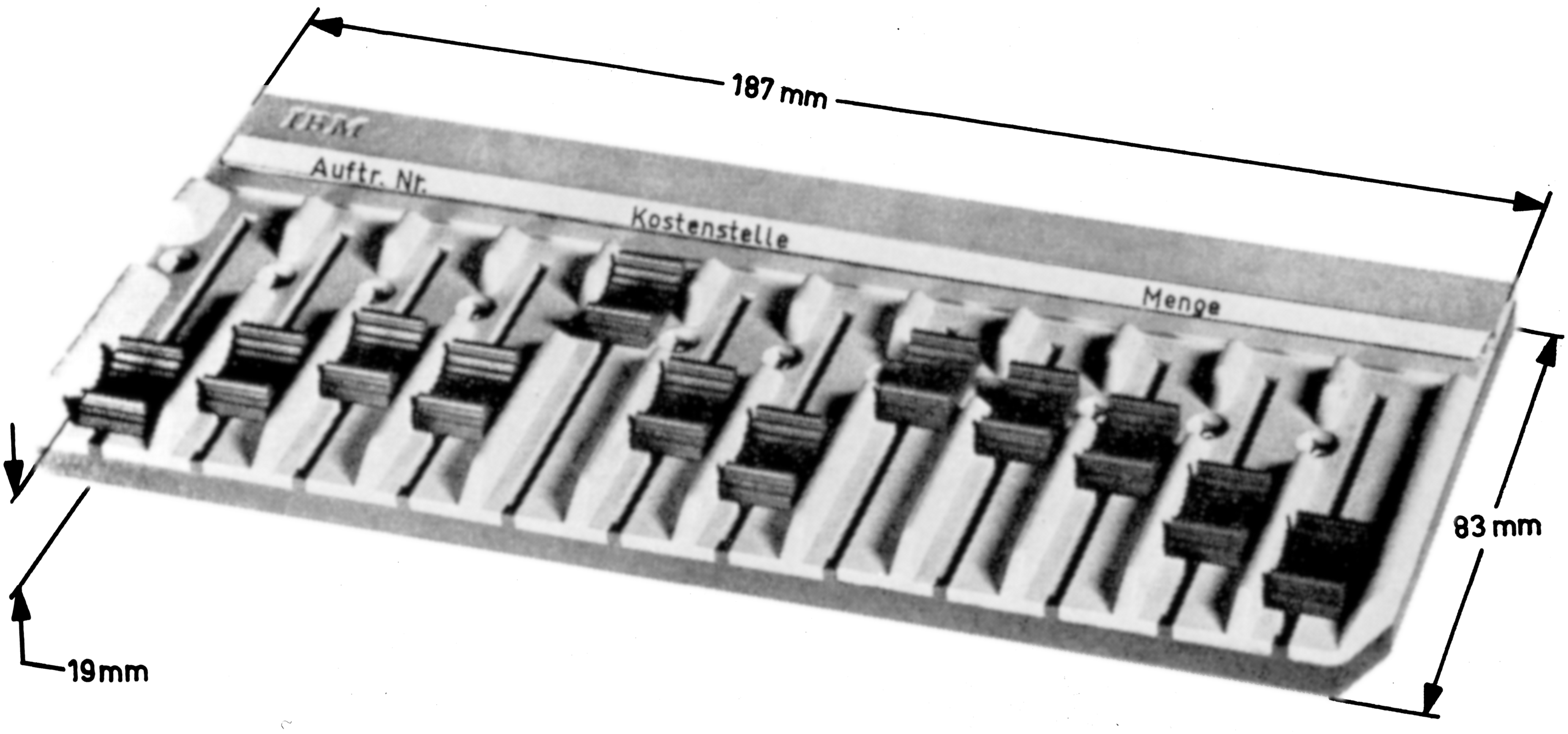


Bild 30. Register

Spezialtastaturen gestatten dem Benutzer eine übersichtliche und einfache Übertragung von Ordnungsbegriffen und Mengen zur Zentrale. Sie enthalten Tastenreihen mit je 10 Drucktasten für die Ziffern 0 bis 9. Die Bedeutung jeder Taste ist jedoch bei den Maskentastaturen von Fall zu Fall verschieden, je nachdem, welche Maske gerade verwendet wird. Man legt die Maske — Bild 31 zeigt ein Ausführungsbeispiel — auf die Tastatur und tastet die betreffenden Ordnungsbegriffe und Mengen ein. Am unteren Rand jeder Maske befindet sich eine Kennzeichnung, die mitabgefühlt wird und die Maske identifiziert. Man entfernt hierzu, wie in Bild 31 links ~~oben~~ für die Kennziffer „33" angedeutet, die nicht benötigten Lappen an der Maske. Die betätigten Tasten leuchten auf und können vor der Übertragung noch einmal visuell überprüft werden. Die Übertragung erfolgt seriell, Tastenreihe für Tastenreihe, wie bei den Registern oder Ausweisen.

Auf die Möglichkeit, Lochkarten- und Lochstreifengeräte in Datenstationen zu verwenden, wurde bereits hingewiesen. Dasselbe gilt für die Kugelkopfschreibmaschine, die sich als Ein/Ausgabemaschine besonders eignet. Eine Sonderausführung, die speziell für Kreditinstitute entwickelt worden ist, zeigt Bild 32. Sie ist mit einer Volltastatur zur Eingabe von Kontonummern, Umsatz etc. und einer Verschlüsselungstastatur zur Spezifizierung der Geschäftsvorfälle ausgestattet. Als Druck-

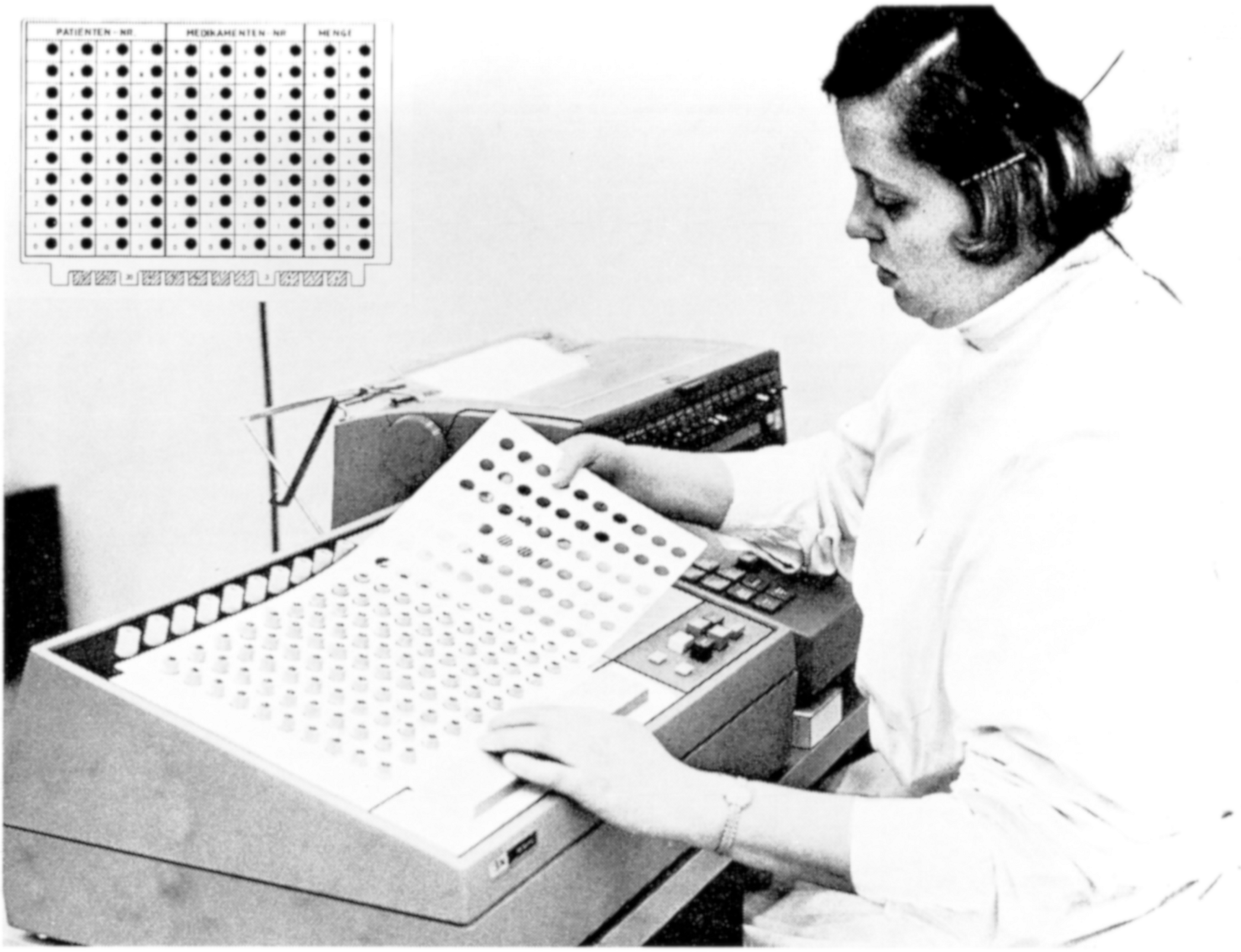

PATIENTEN-NR.
MEDIKAMENTEN-NR.
MENGE

Bild 31. Maskentastatur IBM 1093

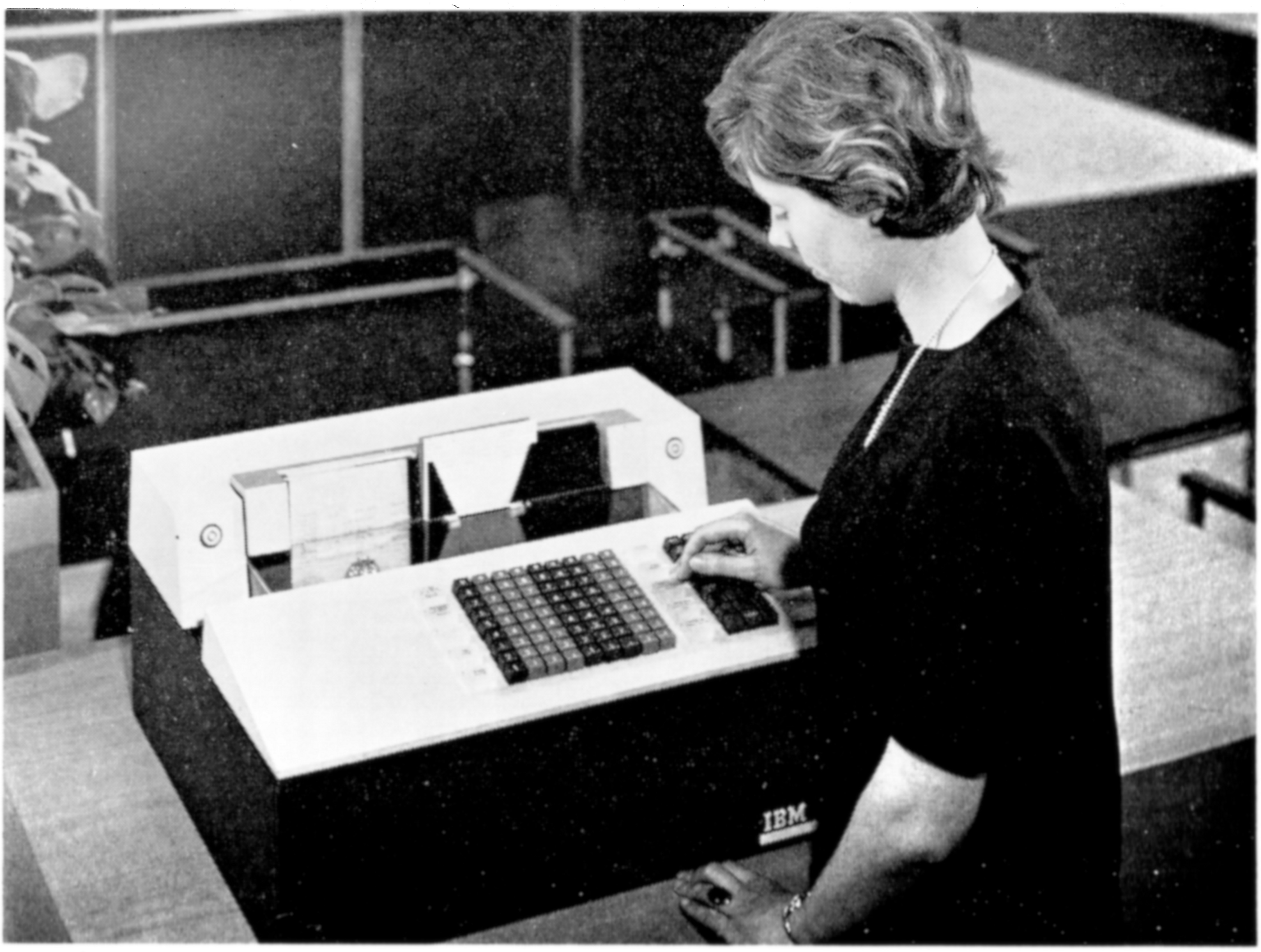
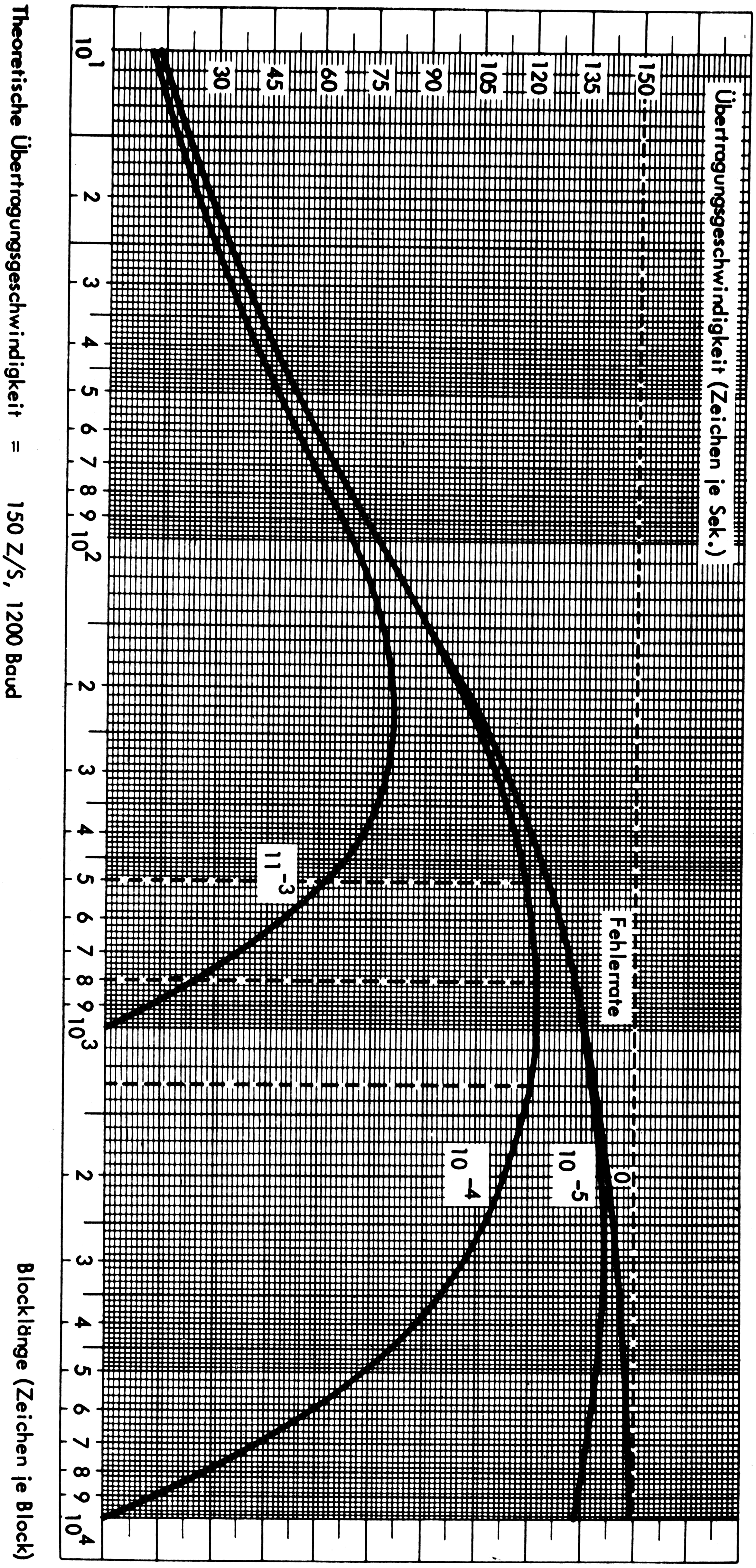


Bild 32. Schaltermaschine IBM 1062 für Kreditinstitute



Theoretische Übertragungsgeschwindigkeit = 150 Z/S, 1200 Baud
Übertragungszeit je Zeichen = 6,5 ms.
Umschaltzeit = 600 ms.

Bild 33. Übertragungsgeschwindigkeit richtig übermittelter Zeichen in Abhängigkeit von Blocklänge und Fehlerrate bei einer Magnetbandübertragungseinheit

werk dient ein Spezialschreibkopf. Über einen Zuführungsschacht können sowohl Einzelbelege als auch Sparbücher zugeführt und alphanumerisch beschriftet werden. Auf einem Journalstreifen lassen sich alle eingegebenen und empfangenen Daten zur Kontrolle festhalten.

b) Geräte für hohe Übertragungsgeschwindigkeiten

Limitierende Faktoren, welche die Übertragungsgeschwindigkeit der bis jetzt behandelten Geräte auf maximal 200 Bit/s beschränken, sind in der Regel mechanische Trägheitsmomente, Schwierigkeiten beim schnellen Transport der Speichermedien, Toleranzprobleme und ähnliches mehr. Geht man jedoch dazu über, Informationen zwischen zum Beispiel magnetischen Speichermedien auszutauschen, so wird die maximale Übertragungsgeschwindigkeit lediglich durch die Bandbreite der Übertragungskanäle bestimmt. Die Übertragung kann wie beim Fernschreiber im Start-Stop-Betrieb, d. h. asynchron, erfolgen. Bei größeren Geschwindigkeiten wird aber meist die synchrone Arbeitsweise angewandt. Jedes Zeichen hat eine feste Anzahl von Bits und benötigt daher keinen Anlauf- bzw. Sperrschritt wie der Fernschreiber. Ein Taktgeber in der sendenden Steuereinheit gibt den Takt für die serielle Impulsübertragung und Übertragungssteuerung an und synchronisiert dadurch auch die empfangende Steuereinheit. In der sendenden Steuereinheit werden ferner die Zeichen zu Blöcken zusammengefügt, die parallelen Bandcodes in serielle Übertragungscodes umgesetzt und sämtliche Zeichen- und Blockprüfungen durchgeführt. In der Empfangsstation findet der umgekehrte Vorgang statt. Nach der Übertragung eines Blocks wartet der Sender, bis vom Empfänger die richtige bzw. fehlerhafte Übertragung des Blocks zurückgemeldet wird. Danach startet er die Übertragung des nächsten Blocks oder die Wiederholung des letzten. Durch diese Arbeitsweise läßt sich die maximale Übertragungsgeschwindigkeit eines Übertragungskanals nicht voll ausnützen, da in den Blockzwischenräumen keine Daten übertragen werden. Die effektive Geschwindigkeit ist deswegen einmal abhängig von der Blocklänge, zum andern aber auch von der Güte und Fehlerrate des Übertragungskanals, wie aus Bild 33 zu ersehen ist. Einerseits sinkt sie bei kurzen Blöcken ab, andererseits besteht bei größeren Fehlerraten und längeren Blöcken die Gefahr, daß die Übertragungen zu oft wiederholt werden müssen. Ist die Fehlerrate jedoch bekannt, so läßt sich eine optimale Blocklänge errechnen.

Moderne Geräte, die beispielsweise nach dem BSC-Verfahren arbeiten (BSC = Binary Synchronous Communication), können im Prinzip jeden beliebigen Code („Transparenz-Modus“) übertragen. Bevorzugt werden jedoch folgende Codes:

1. 6-Bit Code mit 64 verschiedenen Zeichen, davon 17 Steuerzeichen (BCD = Binary-Coded Decimal).
2. 7-Bit Code mit 128 verschiedenen Zeichen, davon 33 Steuerzeichen. Dieser Code ist in einem internationalen Normvorschlag der ISO (International Organization for Standardization), in einer amerikanischen Norm (ASCII = American Standard Code for Information Interchange) sowie in einem deutschen Normentwurf (DIN 66003) enthalten.
3. 8-Bit Code mit 256 verschiedenen Zeichen, davon 50 Steuerzeichen (EBCDIC = Extended Binary-Coded Decimal Interchange Code).

Die Paarigkeits- bzw. Unpaarigkeitsprüfungen mit einem zusätzlichen, redundanten Prüfbit sowie die Längsprüfung wurden bereits erwähnt. Hinzu kommt beim BSC-Verfahren die sog. zyklische Prüfung (Cyclic Redundancy Checking), bei der ebenfalls zusätzliche Prüfzeichen (z. B. mit Restklassenverfahren) für jeden Datenblock erzeugt werden. Werden bei der Übertragung eines Datenblocks Fehler erkannt, so wiederholt man die Datenübertragung üblicherweise bis zu drei Malen. Dann stoppt die Anlage und zeigt den Fehler optisch oder akustisch an.

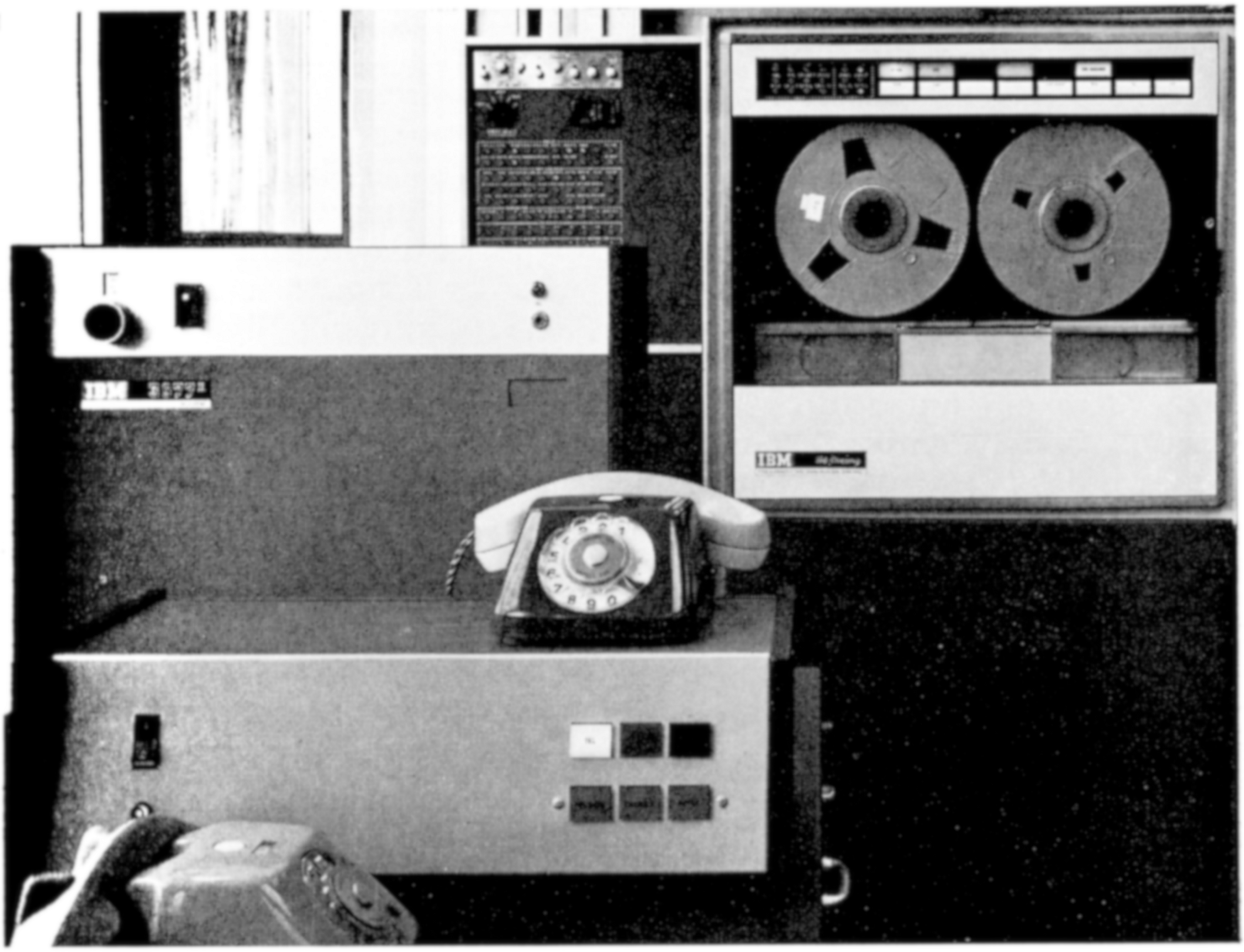


Bild 34. Magnetbandeinheit für Synchronbetrieb mit den dazugehörigen Übertragungs- und Steuergeräten

Neben Geräten zur Übertragung von Magnetband zu Magnetband — Bild 34 zeigt eine derartige Magnetbandeinheit für Synchronbetrieb nebst den dazugehörigen Übertragungs- und Steuergeräten — sind auch Geräte gebräuchlich, die den direkten Informationsaustausch zwischen Magnetband und Kernspeicher oder zwischen den Kernspeichern zweier Datenverarbeitungsanlagen ermöglichen. Schließlich sei in diesem Zusammenhang auch noch auf die digitalisierte Bildübertragung hingewiesen. Faksimile- und Hellschreiber sind typische Beispiele hierfür. Die Übertragung erfolgt hier zwar in der Regel zwischen zwei Datenstationen gleicher Bauart. Im Prinzip ist aber auch bei diesen Geräten ein Informationsaustausch mit zentralen Datenverarbeitungsanlagen möglich. Auf diese Möglichkeiten der digitalisierten Bildübertragung wird in einem späteren Kapitel noch näher

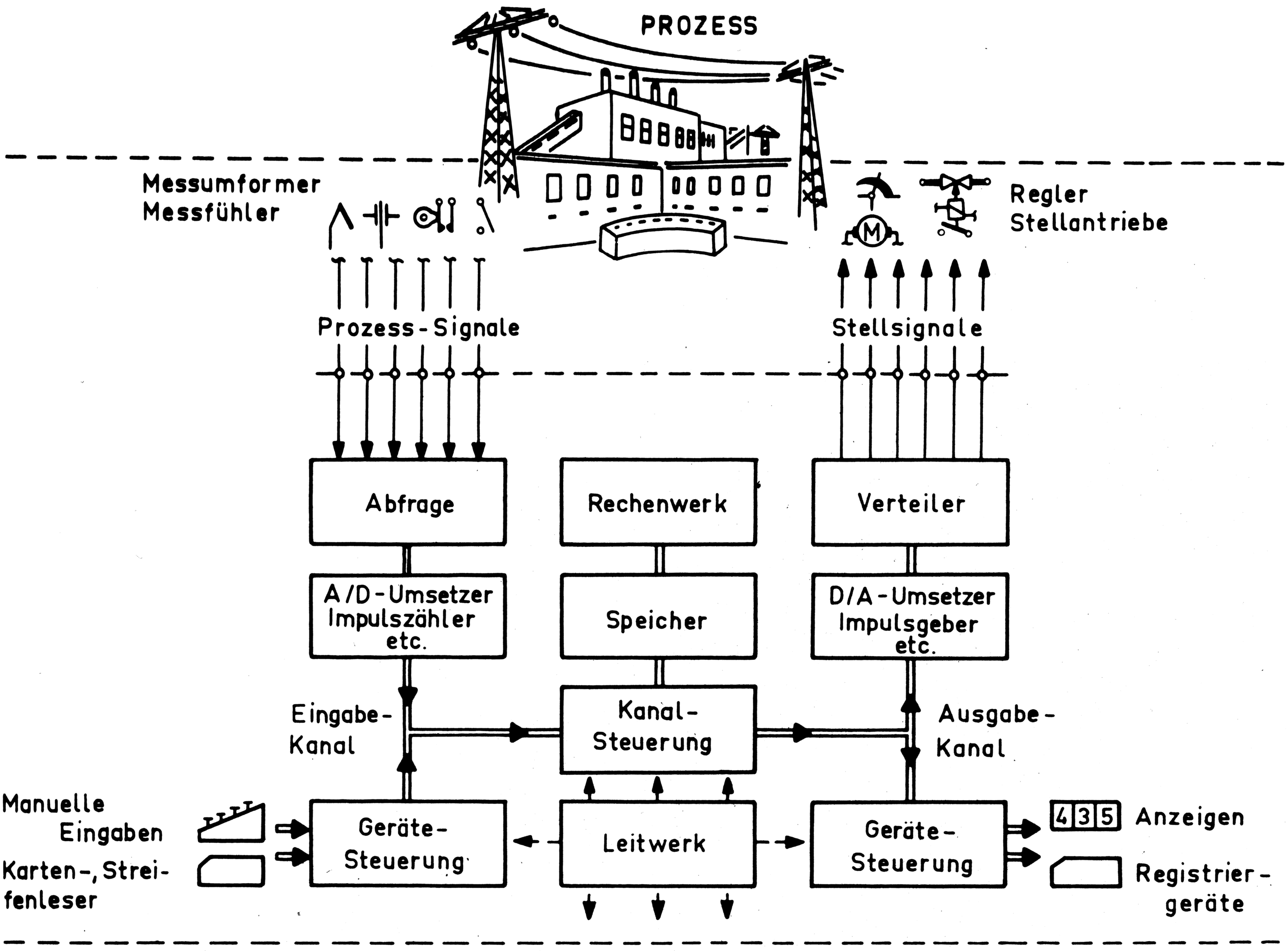

PROZESS
Messumformer
Messfühler
Regler
Stellantriebe
Prozess-Signale
Stellsignale
Abfrage
Rechenwerk
Verteiler
A/D-Umsetzer
Impulszähler
etc.
Speicher
D/A-Umsetzer
Impulsgeber
etc.
Eingabe-
Kanal
Kanal-
Steuerung
Ausgabe-
Kanal
Manuelle
Eingaben
Karten-, Strei-
fenleser
Geräte-
Steuerung
Leitwerk
Geräte-
Steuerung
435
Anzeigen
Registrier-
geräte

Bild 35. Prozeßrechensystem

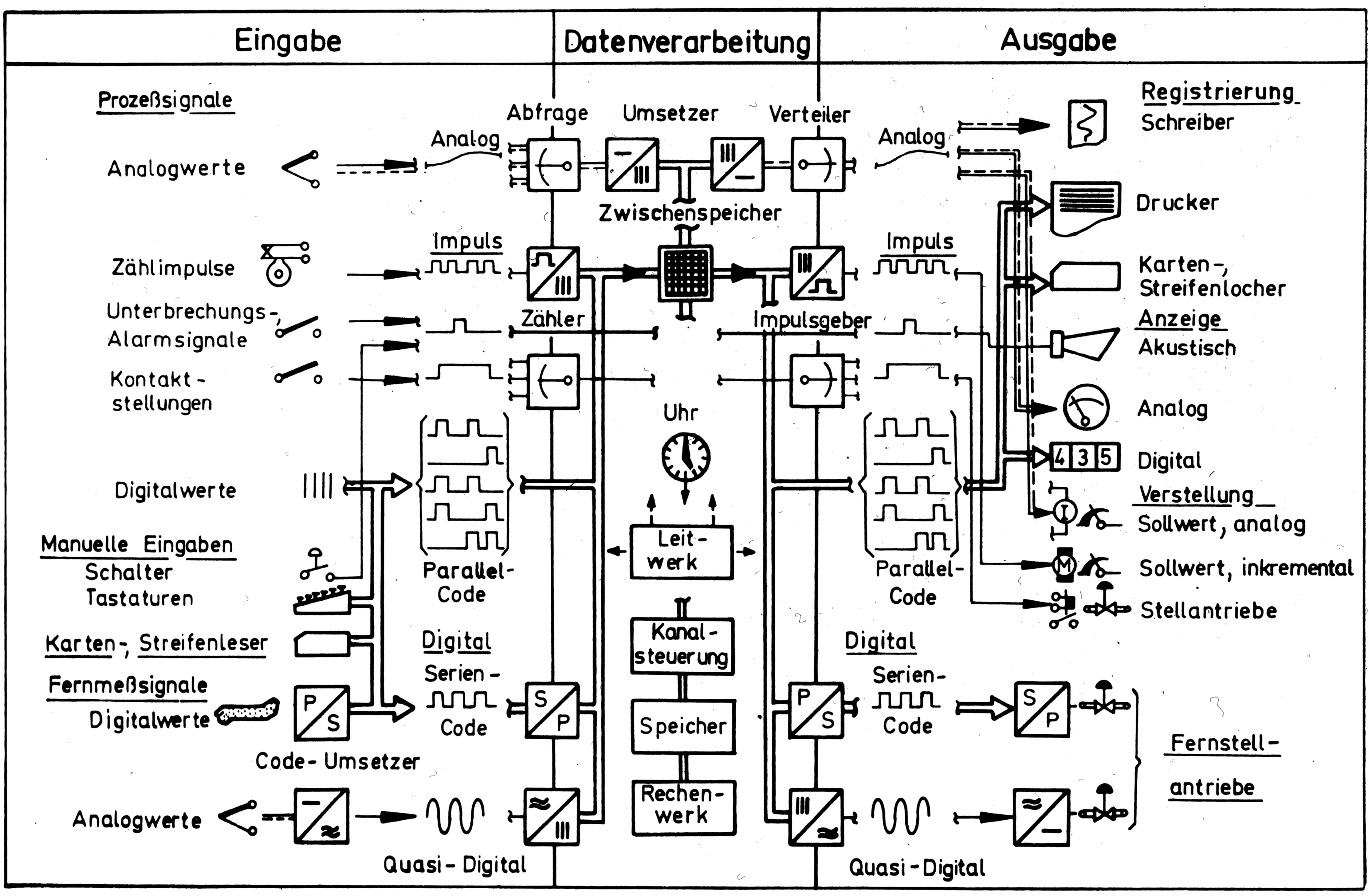

Eingabe
Datenverarbeitung
Ausgabe
Prozeßsignale
Analogwerte
Analog
Abfrage
Umsetzer
Verteiler
Analog
Registrierung
Schreiber
Zwischenspeicher
Drucker
Zählimpulse
Impuls
Impuls
Karten-,
Streifenlocher
Unterbrechungs-,
Alarmsignale
Zähler
Impulsgeber
Anzeige
Akustisch
Kontakt-
stellungen
Uhr
Analog
Digitalwerte
435
Digital
Verstellung
Sollwert, analog
Leit-
werk
Manuelle Eingaben
Schalter
Tastaturen
Parallel-
Code
Parallel-
Code
Sollwert, inkremental
Stellantriebe
Kanal-
steuerung
Karten-, Streifenleser
Digital
Digital
Fernmeßsignale
Serien-
Serien-
Digitalwerte
P
S
S
P
P
S
S
P
Code
Code
Speicher
Fernstell-
antriebe
Code-Umsetzer
Rechen-
werk
Analogwerte
Quasi-Digital
Quasi-Digital

Bild 36. Funktions- und Signalübersicht

Die verschiedenen Funktionen eines Prozeßrechensystems und die Art der Signaldarstellung sind aus Bild 36 ersichtlich [29]. Es treten im wesentlichen elektrische Analogwerte, Zählimpulse, Zweipunktsignale, parallel- bzw. seriell codierte Digitalwerte oder quasidigitale Fernmeßsignale (Kontakt „aus“ oder „ein“) auf. Bemerkenswert ist, daß sowohl auf der Eingabeseite als auch auf der Ausgabeseite immer eine äquivalente Signaldarstellung denkbar und auch gebräuchlich ist.

a) Signal-Eingabe

Analoge Prozeßsignale werden von Meßfühlern wie Thermoelementen, Widerstandsthermometern, Analysengebern, Meßumformern usw. in Form von elektrischen Spannungen oder Strömen geliefert, die relativ einfach verstärkt, übertragen und weiterverarbeitet werden können. Besonders bequem wird die Meßwerterfassung, wenn die Meßgröße wie beim Elektrizitätszähler oder Drehzahlmesser bereits in quantisierter Form als Zählimpuls vorliegt. Man braucht die Impulse lediglich zu zählen und aufzusummieren. Auch digitale Meßwerte von Waagen, Codescheiben oder Digitalvoltmetern treten immer häufiger in technischen Prozessen auf. Schieberstellungen, Schaltzustände von Motoren und Schützen, Grenzwerte usw. lassen sich durch Kontaktstellungen auf einfache Weise als Zweipunktsignale darstellen und abfühlen. Auch Gefahrenzustände oder Anforderungen peripherer Geräte an die Zentrale zur Einleitung besonderer Maßnahmen (Unterbrechungssignale) sind durch Zweipunktsignale darstellbar. Sie unterbrechen das laufende Programm und veranlassen entsprechende manuelle Maßnahmen oder die Einleitung vorrangiger Sonderprogramme.

Da das Bedienungspersonal die Möglichkeit haben muß, im Störungsfall oder bei geänderter Fahrweise eingreifen zu können, sind hierfür besondere Schalter vorgesehen, die ebenfalls Zweipunktsignale liefern. Über Tastaturen lassen sich Kennziffern eingeben, die ein Produkt, eine spezielle Fahrweise oder einen Auftrag besonders kennzeichnen. Dasselbe kann über maschinell auslesbare Informationsträger wie Lochkarten oder Lochstreifen geschehen. Schließlich sei noch auf die Verbindung zu bereits installierten Fernmeßsystemen hingewiesen, die gelegentlich durch die Bereitstellung der notwendigen Sende- und Empfangsgeräte herbeigeführt werden muß.

Zur Übertragung analoger Signale haben sich für Entfernungen von einigen Kilometern analoge elektrische Übertragungsverfahren bereits in den Einheitsmeßsystemen der konventionellen Meßtechnik bewährt. Praktisch beliebig weite Entfernungen lassen sich mit digitalen Impulsverfahren überbrücken. Die Übertragung erfolgt entweder als Einzelimpuls wie bei den Zählverfahren und Zweipunktsignalen, oder aber als parallel bzw. serienweise angeordnetes Codewort auf einem digitalen Datenkanal.

Die weitaus größten Probleme bei der Eingabe von Prozeßsignalen treten bei der Erfassung von Analogwerten auf, einmal wegen der Vielfalt von Signalarten, zum anderen wegen der unterschiedlichen Signalgrößen und der Störeinflüsse durch benachbarte Starkstromleitungen. Der zu erfassende Spannungsbereich erstreckt sich, beginnend bei einigen Millivolt von Thermoelementen, über einige Volt von Analysengebern oder Stellungsmeldern bis zu Wechselspannungen von 110 V und mehr von Spannungswandlern in Starkstromanlagen. Gleichstromsignale sind mit oder ohne unterdrückten Nullpunkt in den Bereichen 5, 20 oder 50 mA gebräuchlich. Entsprechend unterschiedlich müssen auch die Anpassungsglieder und Filter bemessen sein, die an der Schnittstelle zwischen Prozeß und Rechensystem die verschiedenen ankommenden Signale in ein einheitliches Gleichspannungssignal umformen.

Benötigt das Prozeßrechensystem einen Analogwert, so fordert es diesen über einen entsprechenden Befehl an. Die Adresse wird im allgemeinen über ein Adreßregister in die Anwahl- und Ablaufsteuerung der Abfrageeinrichtung, auch Eingabe-Multiplexer genannt, übertragen (Mitte Bild 36). Diese wählt über Relais- oder Halbleiterschalter die gewünschte Meßstelle an und schaltet sie entweder direkt oder über Signalverstärker auf den Analog-Digital-Umsetzer durch. Nach der Umsetzung wird der Digitalwert in einem Register zum Abruf durch den Rechner bereitgestellt. Der Abruf selbst erfolgt meist über eine Eingabeunterbrechung, ausgelöst durch ein Fertigsignal des Umsetzers.

Die Erfassung binärer Signale von Stellungskontakten oder Digitalwertgebern bietet keine wesentlichen Schwierigkeiten, da sie nach einer Potentialtrennung dem Rechenwerk und Speicher direkt zugeleitet werden können. Meist faßt man ganze Kontaktgruppen in Maschinenworte zusammen, gibt ihnen eine eigene Adresse und überträgt sie wie einen Digitalwert. Nicht gewünschte Kontakte lassen sich im Programm durch Maskierung oder logische Befehle ausblenden.

Unterbrechungssignale müssen ohne Verzögerung zum Prozeßrechner weitergeleitet werden, damit dieser sofort reagieren kann. Dies geschieht meist über einen gemeinsamen Unterbrechungskanal. Gleichzeitig wird z. B. ein Anzeiger zur Kennzeichnung der unterbrechenden Stelle und des Unterbrechungsgrundes in einem Unterbrecher-Statuswort gesetzt, das im Programm abgefragt und analysiert werden kann.

b) Analog-Digital-Umsetzer, Digital-Analog-Umsetzer

Das in Prozeßrechensystemen am häufigsten angewendete Analog-Digital-Umsetzverfahren ist die Stufenkompensation [30, 31]. Hierbei wird die Meßgröße U_x mit einer stufenförmig veränderlichen Normalspannung U_v verglichen. Die Bewertung der einzelnen Stufen liefert den digitalen Ausgangswert. Bild 37 zeigt ein Ausführungsbeispiel. Es besteht im wesentlichen aus einem Stufenpotentiometer, den Stellenschaltern, dem Vergleicher und der notwendigen Steuerung. Die Kontakte 1 bis 64 der Stellenschalter sind hierbei als Relaiskontakte dargestellt. In Wirklichkeit verwendet man jedoch durchweg Halbleiterelemente. Das Stufenpotentiometer enthält eine Reihenschaltung von 2 mal 7 dual gestuften Widerständen und bildet mit den Arbeits-

und Ruhekontakten der sieben Stellenrelais einen Spannungsteiler für die Normalspannung U_N. Der Abgleich, z. B. für den Wert $U_x = 45$, läuft nun folgendermaßen ab:

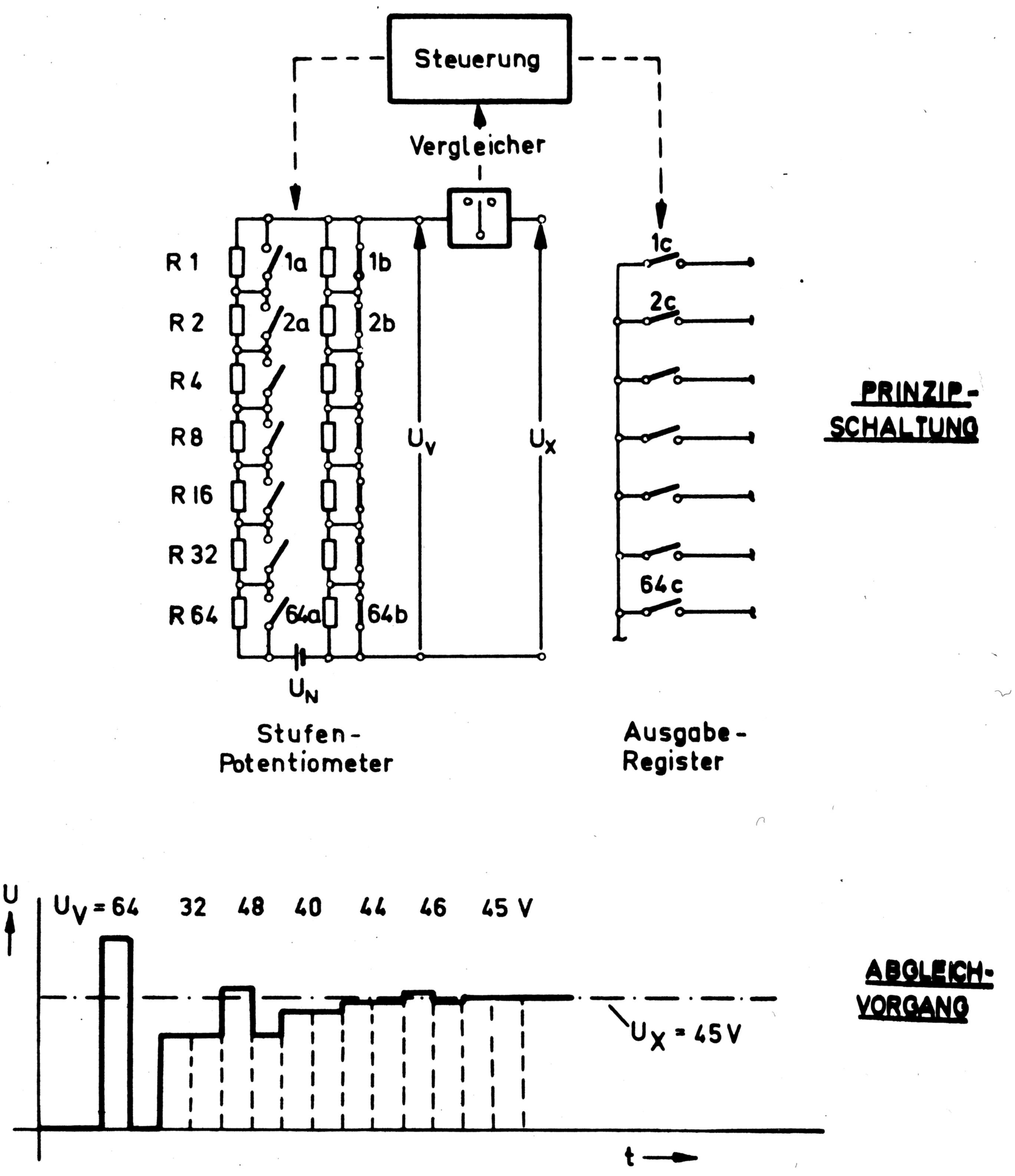


Bild 37.
Analog-Digital-Umsetzer. Stufenkompensation

Zu Beginn sind sämtliche Ruhekontakte der Stellenrelais geschlossen, und die Teilspannung U_v ist gleich Null. Beim ersten Schritt wird R 64 durch Kontakt 64 b in der rechten Widerstandsreihe eingeschaltet und durch Kontakt 64 a in der linken Widerstandsreihe kurzgeschlossen. Hierdurch verschiebt sich der fiktive Potentiometerabgriff auf den Wert 64 (bei $U_N = 123$). Der Vergleicher stellt fest, daß dieser Wert größer als U_x ist und wirft das Stellenrelais 64 wieder ab. Als nächstes wird der Wert 32 durch das Einschalten von Relais 32 ausprobiert. Der Vergleicher stellt fest, daß U_v kleiner als U_x ist, hält Relais 32 und probiert im dritten Abgleichschritt den Wert 32 + 16 = 48 durch das Einschalten von Stellenrelais 16 aus. Dieser Wert ist wiederum größer als 45, Relais 16 wird wieder abgeworfen und als nächstes Relais 8 ausprobiert. Auf diese Weise tastet sich die Vergleichsspannung U_v stufenweise an den Meßwert heran. Bei Spannungsgleichheit bilden die Kontakte c der Stellenrelais das Ausgaberegister. Mit modernen Umsetzern lassen sich nach diesem Verfahren Umsetzgeschwindigkeiten von 20 000 pro Sekunde und mehr bei einer Stufengenauigkeit von 0,5 ‰ erreichen.

Zur Digital-Analog-Umsetzung sind zwei Verfahren sehr verbreitet, die Spannungs- und Stromsummierung. Bild 38 zeigt die prinzipielle Wirkungsweise. Der Prozeßrechner stellt den auszugebenden Wert in einem Ausgaberegister zur Verfügung, startet die Umsetzung und ist dann frei für andere Aufgaben. Die Spannungssummierung entspricht im wesentlichen dem Stufenpotentiometer in Bild 37, nur daß die Stellenrelais 1 ... 64 vom Ausgaberegister direkt geschaltet werden. Die Ausgabespannung U_A ist somit die Summe aller Teilspannungen, die sich aus den Spannungsabfällen an den dual gestuften Widerständen $R_1 \dots R_{64}$ ergibt. Die Stromsummierung, insbesondere für niederohmige Lastwiderstände geeignet, ergibt sich aus der Summe aller Teilströme, die durch die angeschalteten Widerstände mit den dual gestuften Leitwerten $G_1 \dots G_{64}$ fließen.

c) Signal-Ausgabe

Sind neue Reglersollwerte, Verstellwege für Schieber und Ventile oder Daten zur Registrierung und Anzeige errechnet, so müssen sie in die für die Ausgabegeräte geeignete Form gebracht werden. Zur Betätigung von Kurvenschreibern, Anzeigeinstrumenten oder analogen Sollwertgebern sind nur Analogsignale geeignet (Bild 36 rechts). Die Erzeugung elektrischer Analogwerte in Digital-Analog-Umsetzern wurde bereits erwähnt.

Werden Sollwertgeber oder Stellantriebe über Motoren stetig verstellt, so ist für einen neuen Sollwert zunächst die Differenz zwischen dem alten und neuen Wert zu ermitteln. Dieser Differenzwert wird dann zu einem Impulsgeber übertragen, der den digitalen Differenzwert, z. B. im Falle eines Schrittmotorantriebs, in eine proportionale Anzahl äquidistanter Impulse umformt (position control) [32]. Bild 39 zeigt die prinzipielle Wirkungsweise am Beispiel eines motorisch angetriebenen Sollwertgebers. Man kann die Sollwertstellung überdies noch einmal kontrollieren, indem man den Widerstandswert eines zusätzlichen Ferngebers über einen Analogeingang erfaßt. Sind die Stellantriebe mit kontinuierlich laufenden Motoren ausgerüstet, so variiert man beispielsweise die Impulsdauer oder Impulspausen (velocity control). Praktische Erfahrungen haben ergeben, daß schon ca. 6 verschiedene Impulslängen zu guten Regelergebnissen führen. Ein besonderer Vorteil motorisch betätigter Steller gegenüber Analogverfahren ist die Tatsache, daß diese auch bei einem Ausfall des Rechners ihre zuletzt erreichte Stellung beibehalten. Analog betätigte Steller dagegen fallen ohne besondere Maßnahmen in ihre Nullstellung zurück.

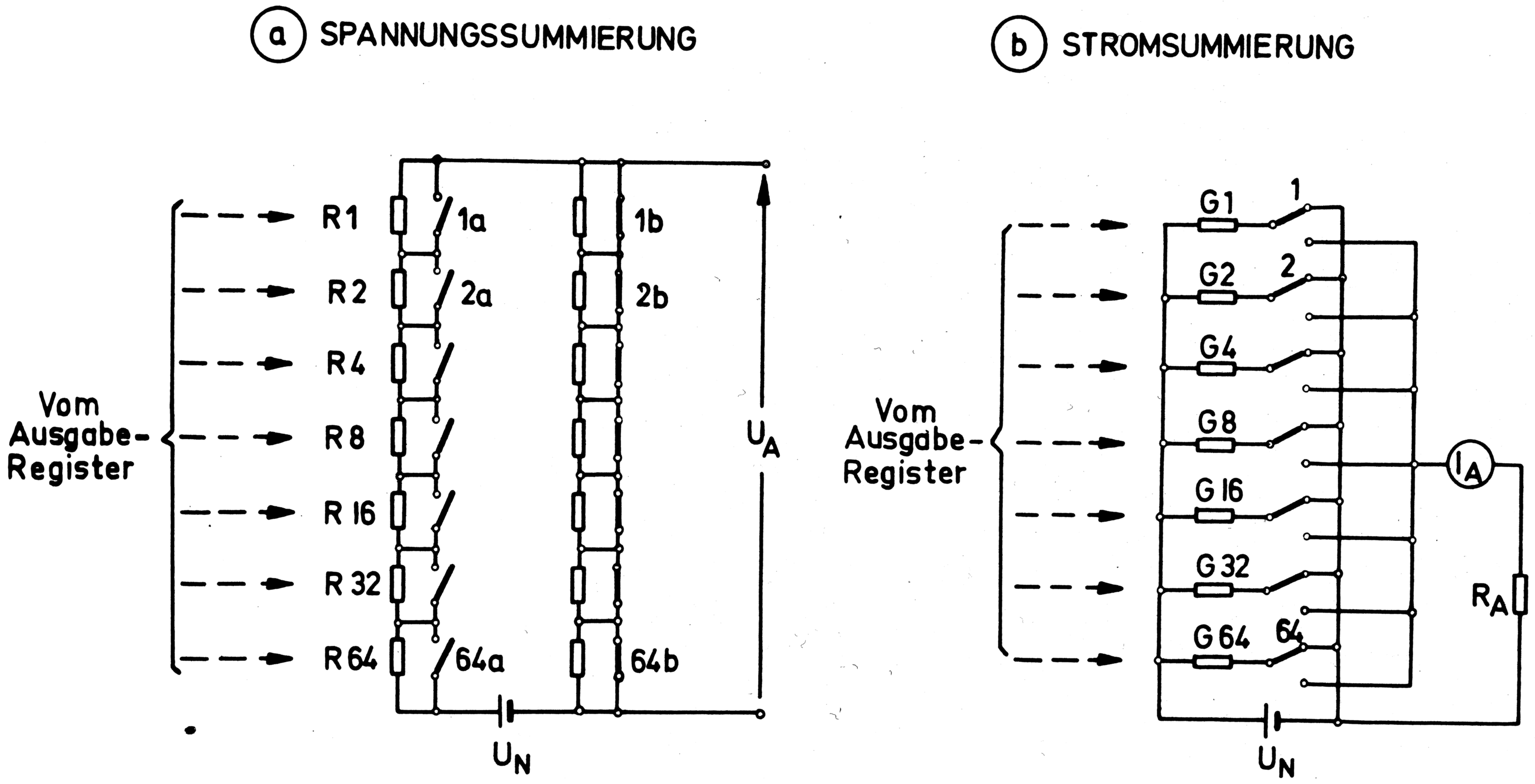


Bild 38. Digital-Analog-Umsetzer. a) Spannungssummierung, b) Stromsummierung

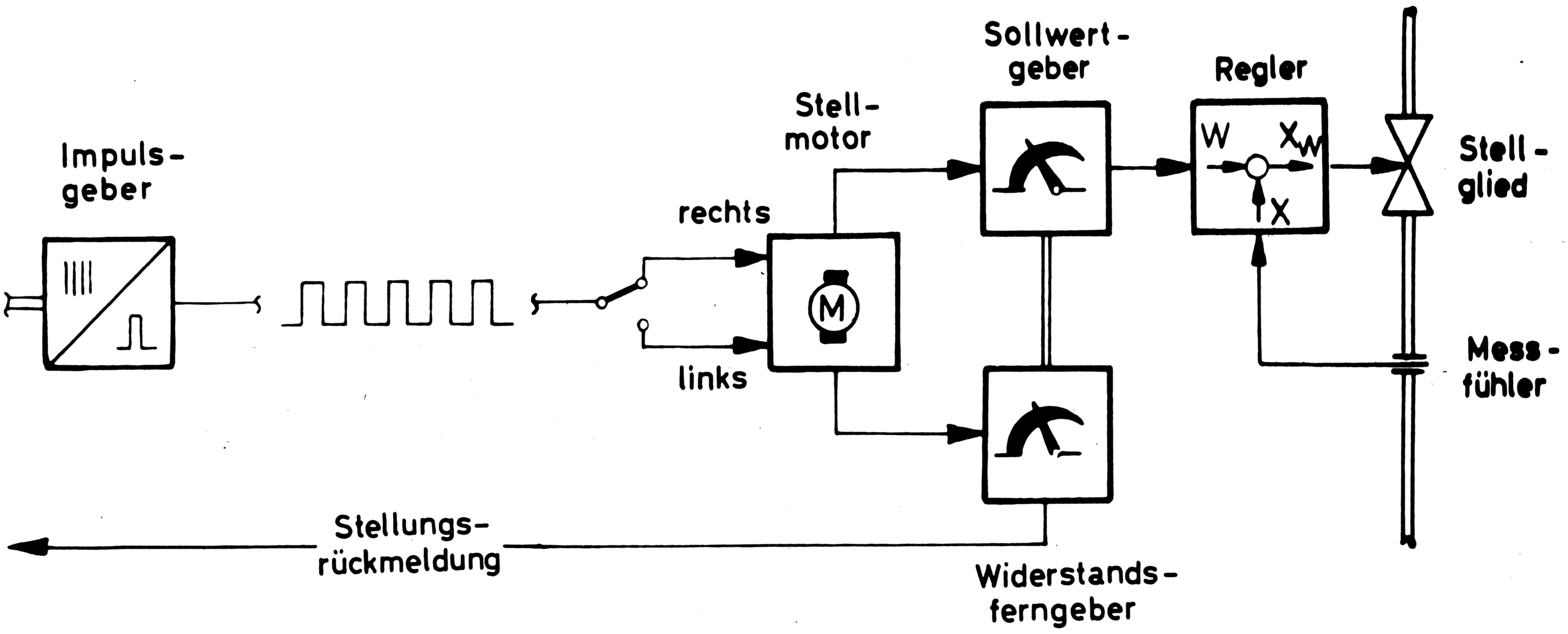


Bild 39. Stellimpulsausgabe

Zur Betätigung unstetiger Stellglieder wie Magnetventile und Kupplungen oder zur Alarmsignalgabe sind kurzzeitige oder selbsthaltende Kontaktgeber vorgesehen. Ferner können wie auf der Eingabeseite auch ausgabenseitig Ziffernwerte parallel oder serienweise codiert zum Drucken, Lochen und Anzeigen übertragen werden (Bild 36 rechts). Die Übertragung erfolgt auch hier meistens wortweise an die entsprechende Adresse über den Ausgabekanal. Nicht benutzte Kontakte und Schalter lassen sich durch Setzen von Masken ausblenden. Schließlich seien noch die fernbetätigten Stellantriebe erwähnt, die mitunter an bereits installierte Fernsteuersysteme angepaßt werden müssen.

4. Direktverbindung Mensch — Maschine

a) Datenstationen

Bei nahezu jeder Anwendung von datenverarbeitenden Anlagen ergibt sich für den Menschen die Notwendigkeit, von Zeit zu Zeit Informationen mit der Anlage direkt auszutauschen. In vielen Fällen ist die Häufigkeit des direkten Informationsaustausches gering, sie beschränkt sich auf Testanfragen des Prüftechnikers oder gelegentliches Abfragen von Registern und Speicherplätzen durch das Bedienungspersonal. Der Hauptdatenverkehr wird über periphere Ein/Ausgabe-Einheiten abgewickelt. In allen diesen Fällen sind Tastaturen, Ziffernanzeigen oder Ein/Ausgabeschreibmaschinen auf dem Bedienungspult der Anlage ausreichend. Auch wenn Probleme durchgerechnet werden müssen, die häufige Interpretationen von Zwischenergebnissen, Änderungen von Parametern usw. notwendig machen, genügt im allgemeinen die Schreibmaschine. Sie ersetzt einfach Papier und Bleistift des rechnenden Mathematikers. Die Mittel der Datenfernverarbeitung ermöglichen überdies, daß man elektrische Schreibmaschinen beliebig weit von der Rechenanlage entfernt in Datenstationen aufstellen kann.

Ähnlich liegen die Verhältnisse, wenn Datenverarbeitungsanlagen für Zwecke der Anfragenbeantwortung eingesetzt sind. Auskünfte über

Lagerbestände, Konten, Personaldaten und ähnliches mehr lassen sich einfach und bequem auf diesem Wege einholen. Man tastet die gewünschte Lager-, Konto- oder Personalnummer ein und läßt sich das Ergebnis herausschreiben. Die Geschwindigkeit elektrischer Ein/Ausgabeschreibmaschinen von 10 bis 20 Zeichen pro Sekunde ist im allgemeinen hierfür ausreichend.

Bedeutungsvoller und konstruktiv ausschlaggebend wird die direkte Verbindung zwischen Mensch und Datenverarbeitungsanlage, wenn auf Grund der Anfrage auch Datenbestände geändert werden. Platzreservierungssysteme sind ein typisches Beispiel hierfür. Von Datenstationen in den verschiedenen Büros einer Luftfahrtgesellschaft z. B. gelangen sämtliche Anfragen und Buchungsorders zu einer zentralen Datenverarbeitungsanlage. Diese gibt der anfragenden Datenstation schriftlich darüber Auskunft, ob und welche Plätze auf einem bestimmten Flugzeug noch verfügbar sind, nimmt Buchungsorders entgegen, korrigiert die Platzbelegung entsprechend und quittiert die Buchung in der Datenstation. Auf diese Weise hält man die Platzbelegung jedes Flugzeuges bis kurz vor dem Start auf dem neuesten Stand, kann somit die zur Verfügung stehende Platzzahl optimal ausnutzen und vermeidet Überbelegungen und die damit verbundene Verärgerung der Fluggäste. Bild 40 zeigt eine solche Buchungsstation eines Platzreservierungssystems. Sie enthält eine Maskentastatur für die Anfrage und einen Fernschreiber für die Rückantworten.

Bild 40. Buchungsplatz der Fa. Standard Elektrik Lorenz in Verbindung mit einem Platzbuchungssystem der IBM für die SAS

b) Optische Verbindungen

Für die Ausgabe größerer Datenmengen wie Flugpläne, Tabellen oder Produktionspläne, die mit einem Blick überflogen werden müssen, eignet sich besonders gut die Bildschirmanzeige (Bild 41). Auf der

Tastatur läßt sich der Ordnungsbegriff, der den gewünschten Datenbestand kennzeichnet, eintasten. Die Datenverarbeitungsanlage bearbeitet die Anfrage und überträgt die anzuzeigenden Daten, maximal 960 Zeichen pro Anzeige, über einen Datenkanal in den Pufferspeicher der Bildschirmsteuerung. Um eine feststehende, flimmerfreie Anzeige zu gewährleisten, wird die Bildschirmanzeige ca. 30mal in der Sekunde regeneriert. In einem typischen Gerät können maximal 64 Zeichen — Buchstaben, Ziffern und Sonderzeichen — in einer 5 × 7 Matrixschrift dargestellt werden. Die Zeichengröße und der Abstand zwischen zwei

```
1   567          FORTRAN STATEMENT
       DIMENSION A(100), C(100), B(100), N,(100)
       COMMON B
       DO 22 I=1, 100
       A(I) = FLOATF(I)
       B(I) = A(I)
       N(I) = I
    22 C(I) = N(I)
       CALL DUMP (A, A(100), 1)
       END
```

Bild 41. Optische Anzeige

Zeichen sind in gewissen Grenzen variierbar. Mit Hilfe der Tastatur, die wie eine Schreibmaschinentastatur ausgebildet und mit einer Schreibstellenmarkierung auf dem Bildschirm gekoppelt ist, lassen sich die angezeigten Daten ändern und ergänzen und zur weiteren Verarbeitung oder Speicherung in die Verarbeitungsanlage rückübertragen.

Eine Verbindung zwischen Mensch und Maschine, die sich besonders gut an die Auffassungsfähigkeit und die Arbeitsweise des Menschen anlehnt, läßt sich über eine Bildschirmanzeige mit Lichtschreiber herstellen [33]. Bild 42 zeigt eine Ansicht dieses Gerätes. Es ist ebenfalls über einen Datenkanal mit einer Datenverarbeitungsanlage verbunden und ermöglicht z. B. einem Konstrukteur den direkten und schnellen Zugriff zu allen digital gespeicherten Informationen, die neben alphanumerischen Texten auch graphische Darstellungen beinhalten können. Auf dem Bildschirm lassen sich die Texte und Darstellungen anzeigen und nach Belieben mit Hilfe des Lichtschreibers oder einer Tastatur ändern, ergänzen oder wieder löschen. Es können neue graphische Entwürfe angefertigt und die Koordinatenwerte sämtlicher so gewonnener Bildpunkte gespeichert werden. Unter Verwendung geeigneter Rechenprogramme ist es möglich, zweidimensional aufgezeichnete Körper in drei Dimensionen darzustellen, Koordinatentransformationen und Koordinatendrehungen durchzuführen sowie Verkleinerungen und Vergrößerungen anzufertigen. Somit ergeben sich hiermit ganz neue Möglichkeiten in der Beziehung „Mensch — Maschine“.

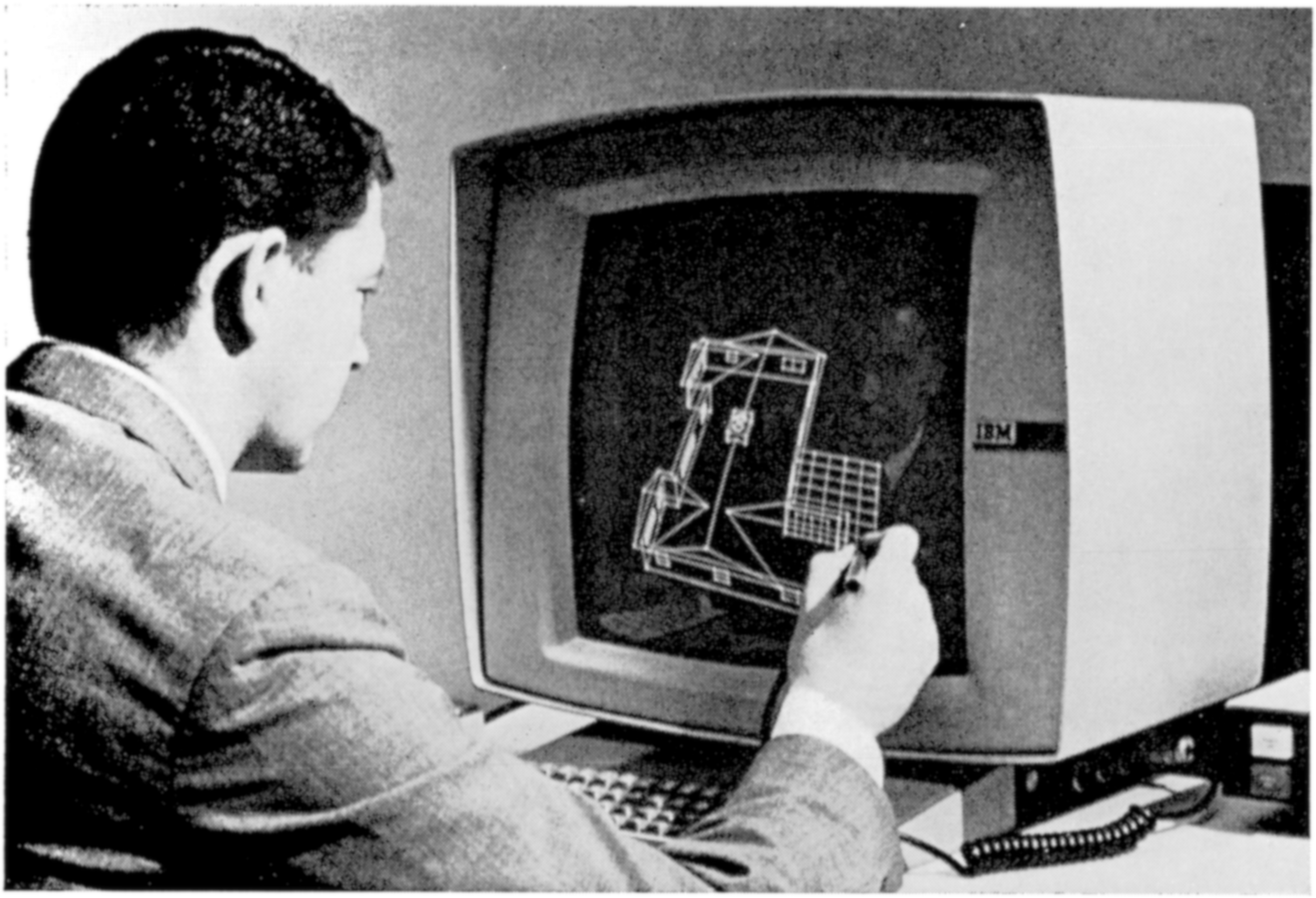


Bild 42. Optische Anzeige mit Lichtschrift

Die optische Ein/Ausgabe besteht im wesentlichen aus einer Elektronenstrahlröhre mit Tastaturen und Lichtschreiber sowie dem Steuer- und Speicherteil. Sämtliche X/Y-Koordinatenwerte und Steuerbefehle, die zur Darstellung eines optischen Bildes notwendig sind, werden lediglich einmal vom Arbeitsspeicher der Datenverarbeitungsanlage über den Datenkanal in den Speicher der optischen Ein/Ausgabe eingelesen. Anschließend sind Kanal und Datenverarbeitungsanlage frei für andere Aufgaben. Jedes Datenwort enthält die X/Y-Koordinaten des anzusteuernden Bildpunktes auf dem Bildschirm sowie Angaben für die Hell-Dunkelsteuerung des Elektronenstrahls. Die Erzeugung des optischen Bildes geht derart vor sich, daß sämtliche Koordinatenwerte konsekutiv aus dem Speicher abgerufen und zum Steuerteil der Elektronenstrahlablenkung übertragen werden. Hier wird Punkt für Punkt das Bild auf dem Leuchtschirm gezeichnet, bis der letzte Bildpunkt erreicht ist. Dann springt die Steuerung wieder zum Anfang der Datenkette zurück und beginnt den Zeichenvorgang von neuem. Dieser Vorgang der Bildgenerierung wiederholt sich so schnell — im Mittel etwa 30mal in der Sekunde — daß ein stehendes, gut wahrnehmbares Bild erzeugt wird.

Zur Anzeige werden die X/Y-Koordinaten jedes Bildpunktes, wie Bild 43 zeigt, in ein Datenregister gebracht und anschließend in Digital-Analog-Umsetzern in äquivalente elektrische Steuersignale umgeformt. Diese analogen Signale wirken auf die horizontale und vertikale Ablenkeinrichtung der Röhre ein und bringen den Elektronen-

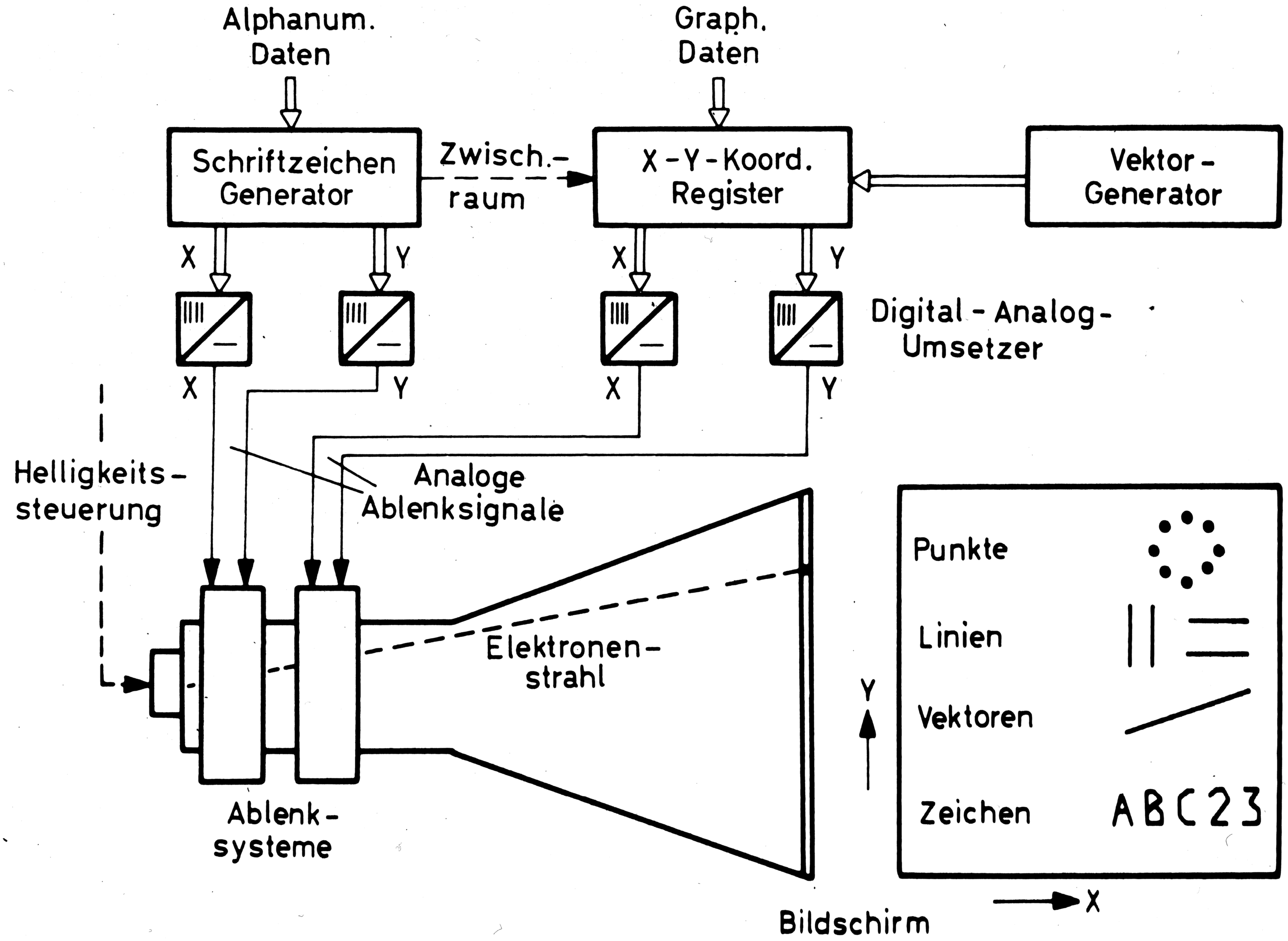

Alphanum.
Daten
Graph.
Daten
Schriftzeichen Generator
Zwisch.-raum
X-Y-Koord. Register
Vektor-Generator
X
Y
X
Y
Digital-Analog-Umsetzer
X
Y
X
Y
Helligkeits-steuerung
Analoge Ablenksignale
Elektronen-strahl
Ablenk-systeme
Punkte
Linien
Vektoren
Zeichen
ABC23
Y
X
Bildschirm

Bild 43. Steuerung der optischen Anzeige strahl in die gewünschte Position auf dem Bildschirm. Eine Reihe derart adressierter Einzelpunkte ergibt somit die gewünschte graphische Darstellung. Ein besonderer Schriftzeichengenerator gestattet die Darstellung von Buchstaben, Ziffern und Sonderzeichen. Zu ihrer Erzeugung ist ein zusätzlich überlagertes Ablenksystem vorgesehen. Durch Angabe einer Koordinatenadresse wird die Position und Zeile des ersten Zeichens bestimmt. Das Hauptablenksystem bringt den Elektronenstrahl in die gewünschte Schreibposition und veranlaßt auch das Fortschalten in die nächste Schreibposition nach Erzeugung des Schriftzeichens.

Den eigentlichen Entwurf graphischer Darstellungen ermöglicht der Lichtschreiber. Er besteht aus einem schreibstiftähnlichen Stab, an dessen Spitze sich eine Photozelle befindet. Zum Zeichnen setzt man diese Spitze auf einen leuchtenden Punkt des Bildschirms, betätigt eine Funktionstaste und veranlaßt hierdurch die Datenverarbeitungsanlage, die X/Y-Werte dieses Punktes aus dem Koordinatenregister festzuhalten. Damit ist die Position des Lichtschreibers innerhalb des Koordinatensystems fixiert. Ein internes Lageregelungssystem sorgt nun dafür, daß der leuchtende Elektronenstrahl jeder Bewegung des Schreibstiftes nachfolgt und die hierbei durchlaufenen Koordinatenpunkte nacheinander speichert. Als Wegfühler für die Lageregelung dient ein kleines Quadrat mit vier leuchtenden Kanten, das an der fixierten Stelle des Lichtschreibers aufleuchtet. Wird der Schreibstift beispielsweise nach rechts bewegt, so kreuzt die Photozelle in der Schreibstiftspitze die rechte Kante des Leuchtquadrats. Eine Auswahllogik stellt sodann fest, um welche der vier Kanten es sich hierbei handelt, und führt den Elektronenstrahl in die neue Position. Auf diese Weise können Bewegungen nach rechts, links, oben oder unten erkannt und interpretiert werden. Bereits gezeichnete Linien lassen sich in ähnlicher Weise auch wieder „ausradieren“. Mit dem Stift wird der zu tilgende Linienzug nach Betätigung einer Löschtaste nachgefahren, die Helligkeitssteuerung des Elektronenstrahls hierbei ausgeschaltet und Koordinatenpunkt für Koordinatenpunkt im Speicher gelöscht.

Neben einer alphanumerischen Zeichentastatur, welche zum Setzen bestimmter Zeichen dient, kann eine zweite Funktionstastatur angeschlagen werden. Durch Drücken bestimmter Tasten lassen sich bestimmte Unterprogramme starten, die z. B. eine Bildtransformation (Drehung, Verschiebung, Maßstabsänderung), eine Parameteränderung bei Kurvendarstellungen oder Einfügen bestimmter Konstruktionssymbole bewirken. Es bleibt dem Benutzer anheimgestellt, sich für spezifische Anwendungsgebiete Programme zur graphischen Informationsverarbeitung zu erstellen und diese mit der Funktionstastatur zu koppeln. Tastaturmasken (Bild 31) dienen der Zuordnung von Unterprogramm-Serien zu bestimmten Anwendungen von Bildschirmgeräten.

c) Akustische Verbindungen

Im Gegensatz zur optischen Verbindung zwischen Mensch und Maschine ist bei der akustischen Verbindung zur Zeit erst die Sprachausgabe technisch zufriedenstellend gelöst. Bei der Spracherkennung und -eingabe ist man über erste Versuche noch nicht hinausgekommen [34].

Die Sprachausgabe gestattet direkten Zugang zu digital gespeicherten Informationen wie Lagerbeständen, Kontoständen oder Platzbelegungen. Zur Abfrage können normale Telefone benutzt werden. Die Datenausgabe erfolgt als normale Sprache, die jedoch nicht gesprochen, sondern aus einem Speicher abgerufen wird. Man unterscheidet zwei Verfahren der Sprachspeicherung, nämlich magnetische Analogspeicherung wie beim Tonband, jedoch meist auf Magnettrommeln, und digitalisierte Sprachsignal-Codierung.

Bei magnetischer Analogspeicherung werden ausgewählte Worte oder Wortfolgen auf einer Anzahl paralleler Magnettrommelspuren gespeichert. Das Sprachausgabeprogramm enthält eine Zuordnungstabelle, in der die digital codierten Informationen und die zugehörigen Spuradressen der Tonsignale festgelegt sind. Das Programm wählt dann die Folge der Spuradressen aus und steuert das Aneinanderreihen der Worte oder Wortfolgen. Der Vorteil dieses Verfahrens besteht darin, daß das phonetische Sprachsignal fertig gespeichert vorliegt und nur abgerufen zu werden braucht. Man kann damit sehr viele Ausgabekanäle parallel mit Sprachsignalen versorgen. Der Nachteil besteht in der durch die Zahl der verfügbaren Trommelspuren begrenzten Zahl der Worte. Typische Anwendungen sind z. B. Börsenauskunftsanlagen, bei denen sehr viele Benutzer gleichzeitig Informationen abfragen, wobei für alle Anfragen ein relativ kleiner, gemeinsamer Wortschatz ausreicht.

Demgegenüber wird bei digitalisierter Sprachspeicherung das Sprachsignal in Form digitaler Information in normalen digitalen Speichern, wegen der erforderlichen Zugriffszeit meist Plattenspeichern, untergebracht. Der verwendete Wortschatz ist nur durch die Kapazität begrenzt, die man gewillt ist, für das „phonetische Lexikon“ zur Verfügung zu stellen. Da jedoch das analoge Sprachsignal jedesmal aus der gespeicherten „phonetischen Information“ neu erzeugt werden muß, hängt die maximale Ausgabeleistung von der Geschwindigkeit des Rechners und von der Zahl der vorhandenen Sprach-Code-Übersetzer ab. Deshalb wird dieses Verfahren bevorzugt angewandt, wenn das Schwergewicht auf großem oder variablem Wortschatz, und nicht so sehr auf einem hohen Informationsfluß in der Ausgabe liegt.

In einem spezifischen digitalen Verfahren — es gibt deren mehrere — werden zur Erstellung des Datenvokabulars und zur Erzeugung der digital codierten Sprache die zu verwendenden Worte als Musterworte einem „Sprach-Code-Erzeuger“ zugeführt [35, 36]. Hier werden zunächst die Grundfrequenzen der Sprachsignale, die „Anregungsfunktionen“, gemessen und die Zeitdifferenzen zwischen zwei positiven Nulldurchgängen, d. h. die Periodendauer T, festgehalten und gespeichert (Bild 44 links). Parallel dazu zerlegt man die Sprachsignale in 15 einzelne Frequenzbänder, die zusammen den Sprachbereich von etwa 200 Hz bis 3500 Hz überdecken, und mißt die Signalamplituden dieser „Aggregatfunktionen" in jedem Frequenzband etwa alle 3 bis 30 ms. Die Messung selbst erfolgt in Analog-Digital-Umsetzern. Jeder Meßwert wird als 3 Bit-Binärzeichen — das sind maximal 8 Amplitudenstufen — gespeichert. Die Darstellung digital codierter Sprache benötigt etwa 2500 Bit für jede Sekunde des Sprachsignals.

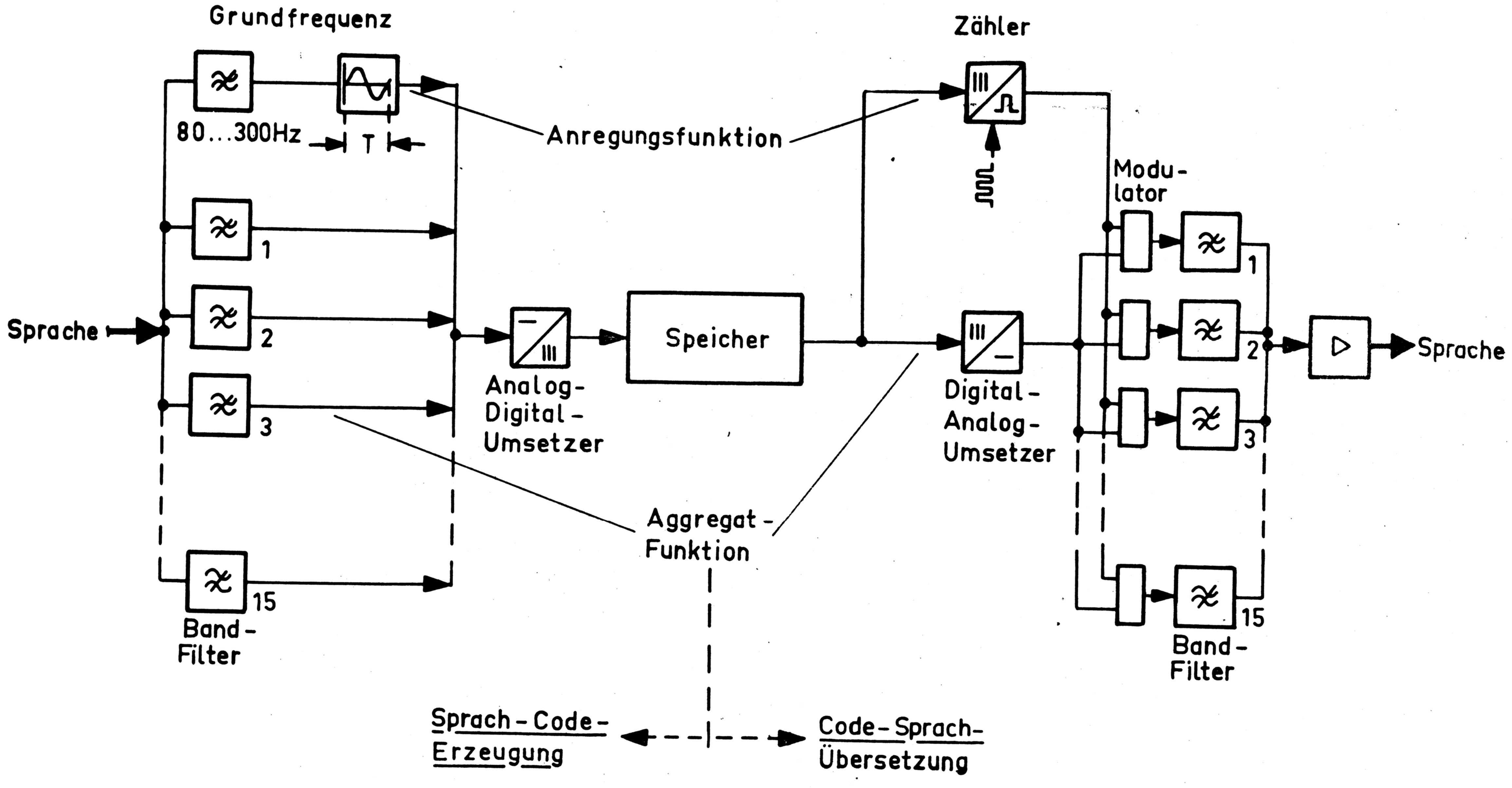

Grundfrequenz
80...300Hz
T
Anregungsfunktion
Zähler
Modulator
Sprache
1
2
3
15
Band-Filter
Analog-Digital-Umsetzer
Speicher
Digital-Analog-Umsetzer
Aggregat-Funktion
1
2
3
15
Band-Filter
Sprache
Sprach-Code-Erzeugung
Code-Sprach-Übersetzung

Bild 44. Prinzip der Sprachcodierung

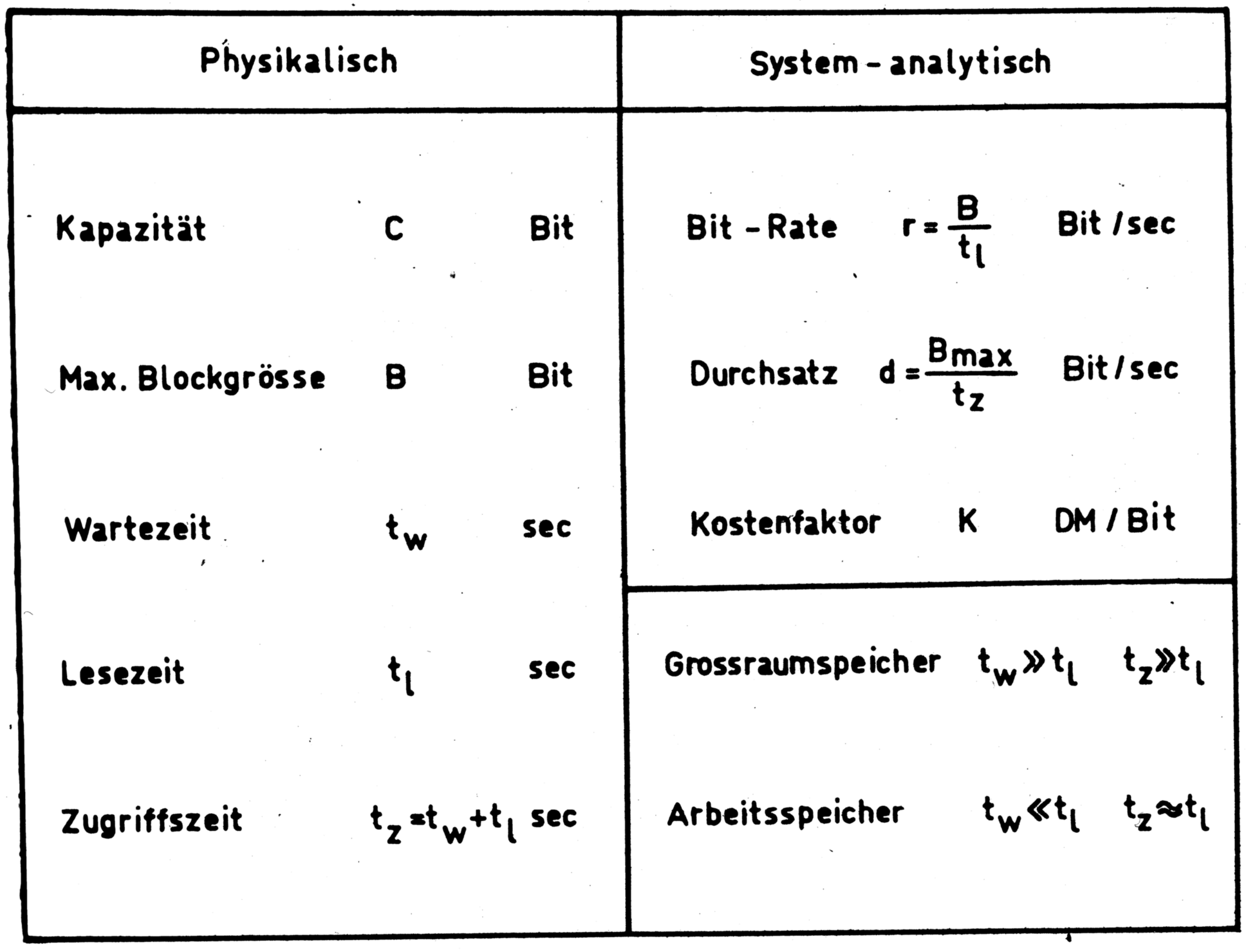
In der Sprachausgabe bewirkt ein Code-Sprach-Übersetzer (Bild 44 rechts) die Rückwandlung in menschliche Sprache. Wie bei der Spracherzeugung bilden auch hier 15 Bandfilter das Kernstück der Anlage. Jedes Filter wird von einer Folge von wenigen Mikrosekunden breiten Rechteckimpulsen beaufschlagt. Die Amplituden dieser Impulse entsprechen den digital gespeicherten Werten, die während der Sprach-Code-Erzeugung erhalten wurden, und sind von Filter zu Filter verschieden. Die Frequenz der Impulse ist identisch mit der jeweiligen Grundfrequenz der Anregungsfunktion und wird mit Hilfe eines Zählers erzeugt. Man lädt den Zähler mit der Periodendauer T einer Anregungsfunktion und zählt ihn anschließend herunter. Sobald der Zählerstand „0" erreicht ist, wird ein Impuls erzeugt und auf alle ersten Eingänge der den Filtern vorgeschalteten Modulatoren gegeben. Der zweite Eingang der Modulatoren wird vom Ausgang des Digital-Analog-Umsetzers entsprechend der Amplitude des betreffenden Frequenzbandes gespeist. Dieser Vorgang des Einlesens, Herunterzählens und Anstoßens wiederholt sich kontinuierlich und erzeugt am Ausgang der Filter Einzelsignale, die zusammen das ursprüngliche analoge Sprachsignal rekonstruieren.

Geräte zur Sprach-Code-Erzeugung werden nur vereinzelt benötigt, da sich mit einem Gerät beliebig viele Datenvokabularien erstellen lassen. Diese Vokabularien sind wie andere Datenbestände in jeder digitalen Datenverarbeitungsanlage speicherbar. Geräte zur Code-Sprach-Übersetzung, die eigentlichen „Sprachausgaben“, müssen jedoch in jeder Anlage vorgesehen werden, in der zentral gespeicherte Informationen in menschlicher Sprache ausgegeben werden sollen.

5. Externe Speicher

Speicher in datenverarbeitenden Anlagen werden im wesentlichen zur Aufnahme und Bereitstellung von Daten und Rechenergebnissen sowie zur Speicherung des Programms verwendet [37, 38]. Die Kenngrößen digitaler Speicher sind in Bild 45 zusammengestellt. Es sind C die Gesamtkapazität, B die maximale Blockgröße, d. i. die mit einer Adresse ansprechbare maximale Datenmenge, t_w die Wartezeit, bis nach dem Adreßaufruf der Lesevorgang beginnen kann, und t_l die Lesezeit für die aufgerufenen Daten. (In den meisten Speichersystemen sind Lese- und Schreibzeiten gleich.) Die gesamte Zugriffszeit t_z ist die Summe aus t_w und t_l.

Neben diesen physikalischen Kenngrößen sind für die Systemanalyse die folgenden Daten bedeutungsvoll: Die Bit-Rate r, welche die Folgegeschwindigkeit der Informationsbits angibt, der Speicherdurchsatz d, welcher den maximalen Informationsfluß in und aus dem Speicher kennzeichnet, wobei die Wartezeit beim Zugriff berücksichtigt ist, und — nicht zuletzt — der Kostenfaktor je gespeichertem Bit.



Physikalisch			System-analytisch		
Kapazität	C	Bit	Bit-Rate	$r = \frac{B}{t_l}$	Bit/sec
Max. Blockgrösse	B	Bit	Durchsatz	$d = \frac{B_{max}}{t_z}$	Bit/sec
Wartezeit	t_w	sec	Kostenfaktor	K	DM/Bit
Lesezeit	t_l	sec	Grossraumspeicher	$t_w \gg t_l$	$t_z \gg t_l$
Zugriffszeit	$t_z = t_w + t_l$	sec	Arbeitsspeicher	$t_w \ll t_l$	$t_z \approx t_l$

Bild 45. Kenngrößen für Speicher

Angestrebt wird möglichst große Speicherkapazität bei möglichst kurzen Zugriffszeiten und bei minimalem Kostenaufwand. Man erkannte jedoch bereits in der frühen Entwicklung der Speicher, daß diese Forderungen nicht mit derselben Technologie erfüllt werden können und spaltete die technische Entwicklung in zwei Hauptrichtungen auf. Die erste Richtung hatte zum Ziel, schnelle interne Speicher, auch Haupt-, Arbeits- oder Primärspeicher genannt, zu entwickeln. Diese Speicher sind im allgemeinen Bestandteil der Zentraleinheit und stellen dieser ihren Speicherinhalt unmittelbar zur Verfügung. Hierbei kommt es auf schnellen Zugriff an, d. h., die Wartezeit t_w sollte klein sein gegenüber der Lese- und Zykluszeit, damit der Speicher mit der hohen Arbeitsgeschwindigkeit des zentralen Rechenwerks Schritt halten kann. Die Speicherkapazität ist jedoch aus Platz- und Kostengründen begrenzt. Die zweite Richtung zielte auf die Entwicklung externer Speicher mit großer Speicherkapazität hin. Man nimmt bei diesen Vorrats- oder Großraumspeichern (Sekundär-, Tertiärspeichern) bewußt eine begrenzte Warte- und Zugriffszeit in Kauf, um die Forderung nach großer Kapazität zu erfüllen ($t_w \gg t_l$), und versucht, die geringere Arbeitsgeschwindigkeit durch organisatorische Maßnahmen auszugleichen. Externe Speicher sind in eigenen Gehäusen untergebracht und verkehren mit der Zentraleinheit über eigene Steuereinheiten und Datenkanäle. Hierbei muß die Nebenbedingung eingehalten werden, daß die Bit-Rate mit der Geschwindigkeit des Informationsflusses des Gesamtsystems kompatibel ist oder durch zwischengeschaltete Pufferspeicher kompatibel gemacht wird.

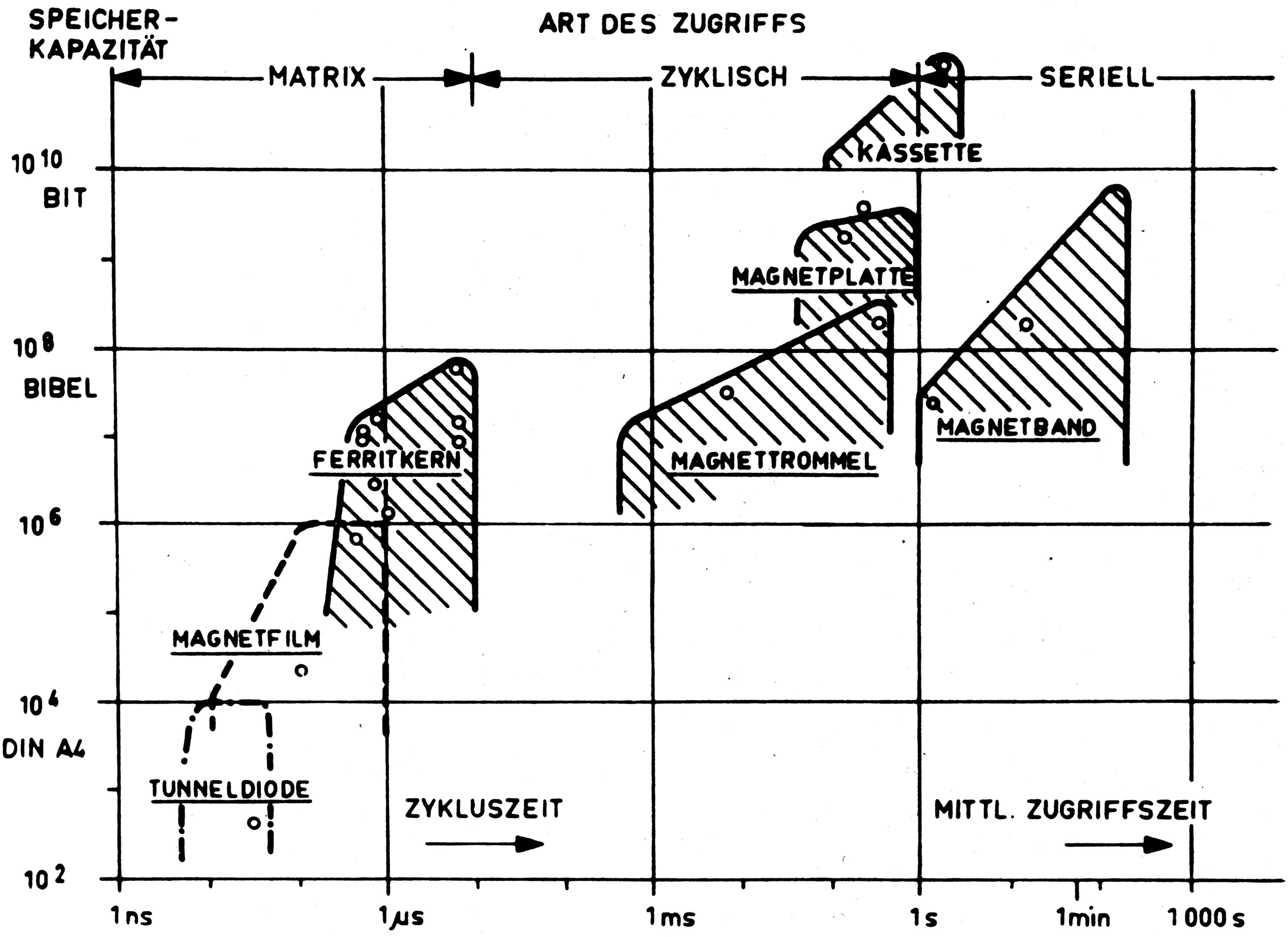


Bild 46. Kapazität und Zugriffszeit

Wie bereits im Übersichtsschema (Bild 1) angedeutet worden ist, bilden interne und externe Speicher eine Hierarchie, die hinsichtlich Zugriffszeit und Kapazität gestaffelt ist. Diese Staffelung und Gruppierung zeigt Bild 46 etwas deutlicher. Interne Arbeitsspeicher operieren heute rein elektronisch mit wahlfreiem Matrixzugriff mit Zykluszeiten zwischen 10^{-6} und 10^{-8} s. Solche Speicher mit Zugriffszeiten im Mikrosekundenbereich wurden erst in Form elektrostatischer Ladungsspeicherröhren gebaut, aber bald abgelöst durch die heute dominierenden Ferritkernspeicher. Diese arbeiten mit wahlfreiem Zugriff bei Zykluszeiten von 0,5 bis 10 Mikrosekunden und mit Kapazitäten bis 10^6 Bit. Vorstöße in Richtung auf schnelle Großraumspeicher mit diesem Speicherprinzip führten zum Beispiel sogar zu einem Großkernspeicher mit 10^7 Bit. Durch Kopplung mehrerer solcher Einheiten kann man immerhin 10^8 Bit im Mikrosekundenbereich zugänglich machen.

In allen externen Großraumspeichern wird die Adressierung durch mechanische Bewegung bewirkt (Wartezeit t_w). Meist handelt es sich um eine Positionierung des Abfühl- bzw. Schreibgeräts zum Speicherträger verbunden mit einer zyklischen Rotationsbewegung, welche zusammen die Zugriffszeiten zwischen 10^{-3} und 10^{-1} s verursachen. Nach frühen Versuchen mit akustischen Laufzeitspeichern hat sich bald allgemein die magnetische Aufzeichnung als wirtschaftlichstes und ergiebigstes Speicherprinzip mit einer bei allen Typen gleichartigen Bit-Rate von 10^5 bis 10^6 Bit/s durchgesetzt. In parallelen Anstrengungen wurden Magnettrommeln als mittelschnelle Speicher und Magnetbänder als echte periphere bzw. externe Vorratsspeicher entwickelt, wobei im speziellen Fall des Magnetbandes mit sehr langen Zugriffszeiten eine besonders wirtschaftliche Speicherung mittels einer sequentiellen oder seriellen Datenorganisation erreicht werden kann.

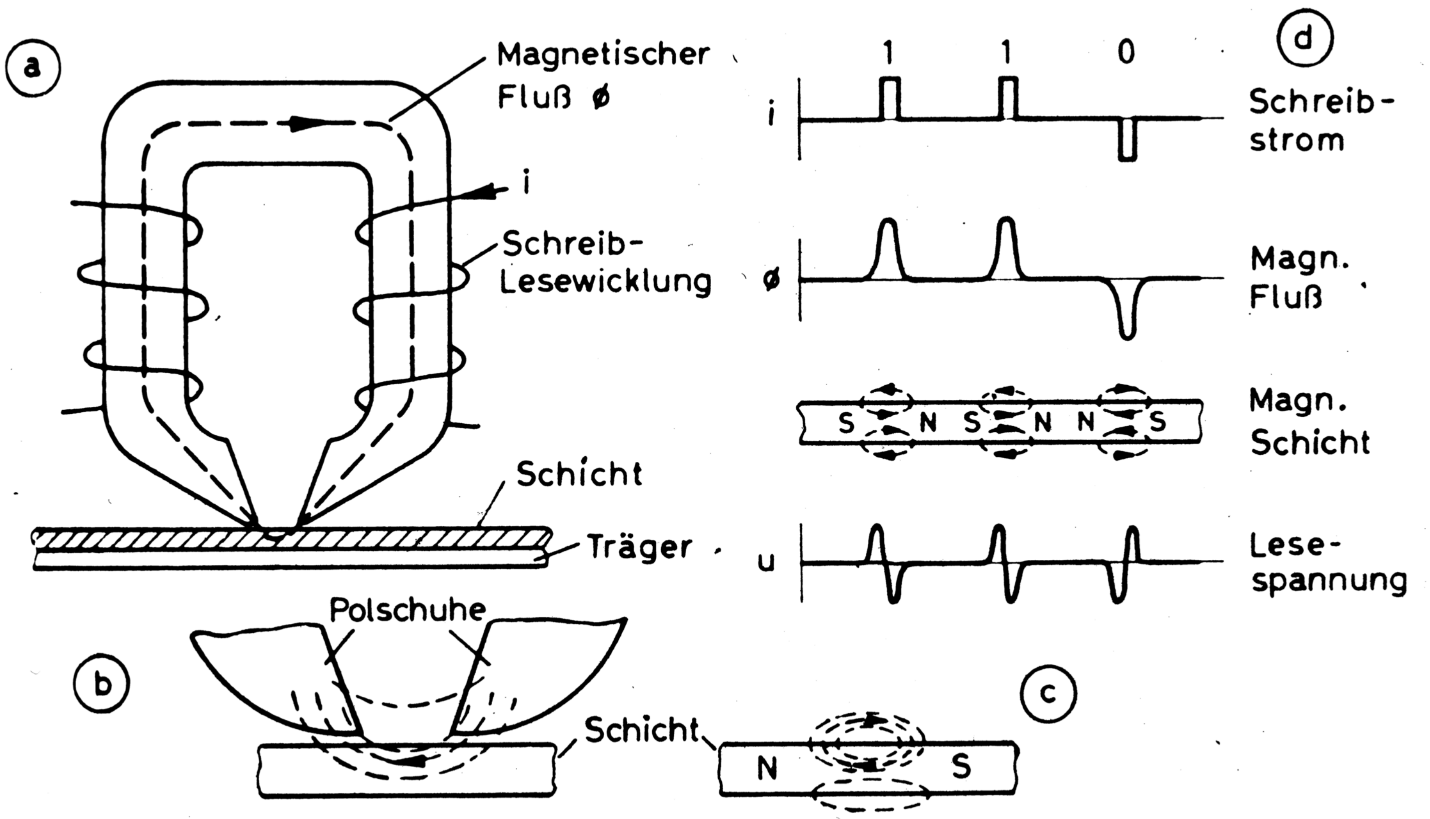


Bild 47. Prinzip des Schreib- und Lesevorgangs bei Datenträgern mit magnetisierbaren Schichten

Das Prinzip des Schreib- und Lesevorgangs bei Datenträgern mit magnetisierbaren Schichten zeigt Bild 47. Wird die Schreib-Lesewicklung von einem Schreibstrom durchflossen, Bild 47 a, so bildet sich ein magnetischer Fluß aus, der die Oberflächenelemente der magnetisierbaren Schicht in der Bewegungsrichtung bis in das Sättigungsgebiet hinein magnetisiert. In Bild 47 b ist der Verlauf der magnetischen Kraftlinien zwischen den Polschuhen und der Schicht angedeutet. Die Elementarmagnete der Schicht werden in Richtung des Kraftlinienverlaufes ausgerichtet und bilden zusammen einen kleinen Magneten, dessen Wirkung auch nach Abschalten des Schreibstroms bestehen bleibt (Bild 47 c). Für die Darstellung der binären Codeelemente sind verschiedene Verfahren möglich: Bild 47 d zeigt z. B. die Zweifachimpulsschrift, welche den binären Zuständen „1“ oder „0“ Impulse entgegengesetzter Polarität zuordnet. Die Schicht enthält nach der Beschriftung, gewissermaßen wie aufgeklebt, in einer Spur kleine Magnete, die beim Lesevorgang in der Schreib-Lesewicklung eine Wechselspannung induzieren (Bild 47 d). Die Polarität dieser Lesespannung kennzeichnet wiederum die binäre „1“ und „0“.

a) Magnetbandspeicher

Magnetbandspeicher verwenden Kunststoffbänder, die mit einer magnetisierbaren Metalloxydschicht überzogen sind. Jedes Zeichen wird

in mehreren, parallel zur Bewegungsrichtung des Bandes verlaufenden Spuren aufgezeichnet. Magnetbänder stellen bis heute das billigste Speichermedium dar. Sie weisen eine hohe Belegungsdichte der Information auf, sind jedoch nicht für direkten Zugriff, sondern nur für suchendes Lesen und serielles Schreiben der Zeichen geeignet. Mit Belegungsdichten von 60 bis 120 Bit/mm erreicht man auf üblichen Bandlängen $5 \cdot 10^8$ Bit Speicherkapazität. Da 10 bis 100 Bandeinheiten in einem System zusammengeschlossen werden können, entsteht ein sehr wirtschaftlicher, allerdings nur als Vorrats- oder Umschlagspeicher verwendbarer Großraumspeicher von etwa 10^{10} Bit. Die volle Wirtschaftlichkeit der Magnetbänder kommt erst durch eine serielle Datenorganisation auf dem Band zum Tragen, während die leichte Auswechselbarkeit der Bänder erlaubt, Bandarchive anzulegen und somit riesige Datenmengen für maschinelle Verarbeitung verfügbar zu halten.

b) Magnettrommelspeicher

Die etwa gleichzeitige Entwicklung der Magnettrommeln brachte den Vorteil großer Kapazität bei günstigen Kosten und mittelschnellem Zugriff. Die Information wird dabei auf dem mit einer magnetisierbaren Schicht bedeckten Zylindermantel einer exakt rundlaufenden Trommel aufgebracht. Selbst Tourenzahlen bis über 10 000 U/min ermöglichen gemäß der halben Umdrehungszeit allerdings nur Zugriffszeiten im Millisekundenbereich, also mehr als drei Größenordnungen länger als die der Ferritkernspeicher. Nach Erreichen der Adresse auf der Trommel vollzieht sich der Informationsfluß vom oder zum Speicher sehr schnell mit Bit-Raten der Größenordnung 10^6 Bit/s. Er ist also durchaus dem der Ferritkernspeicher angepaßt. Darüber hinaus können viele Spuren auf dem Zylinder parallel angesteuert und damit der Informationsfluß nochmals beträchtlich erhöht werden. Speicherkapazitäten im Bereich um 10^7 bis 10^8 Bit sind üblich. Die größte Trommel reicht sogar bis $8 \cdot 10^8$ Bit. Als Besonderheit besitzt dieser Speicher bewegliche Schreib-Leseköpfe, welche über die Spuren der Trommel axial verschoben werden können.

c) Magnetplattenspeicher

Eine beträchtliche Kapazitätssteigerung ließ sich erzielen, als man nach langen Entwicklungsanstrengungen lernte, magnetische Plattenspeicher zu bauen. Dabei werden Platten, die hochwertig ebene Oberflächen besitzen müssen, beidseitig mit einer magnetischen Schicht belegt und zu Stapeln zusammengefaßt (Bild 48). Kammartig angeordnete Schreib-Leseköpfe können mechanisch auf die verschiedenen Kreisspuren eingestellt werden. Die mit extremen Toleranzbedingungen zwischen den Platten zu führenden Köpfe mußten sorgfältig aerodynamisch durchentwickelt werden. Sie gleiten auf einem Luftpolster, das sie sich aerodynamisch selbst erzeugen, zwischen den rotierenden Platten. Die Einteilung des Speichers erfolgt meist im „Zylinderkonzept", bei dem auf allen Platten gleichzeitig dieselbe Spur angesteuert wird. Mit auswechselbaren Plattenstapeln sind je Stapel etwa $20 \cdot 10^7$

Bit verfügbar, d. h., mit der Möglichkeit, Plattenstapel zu speichern, gelangt man zu Archivkapazitäten von 10^8 bis 10^9 Bit. Die größten Plattenspeicher erreichen heute mit 50 Platten bei höchster Informationsdichte Kapazitäten bis $2 \cdot 10^9$ Bit.

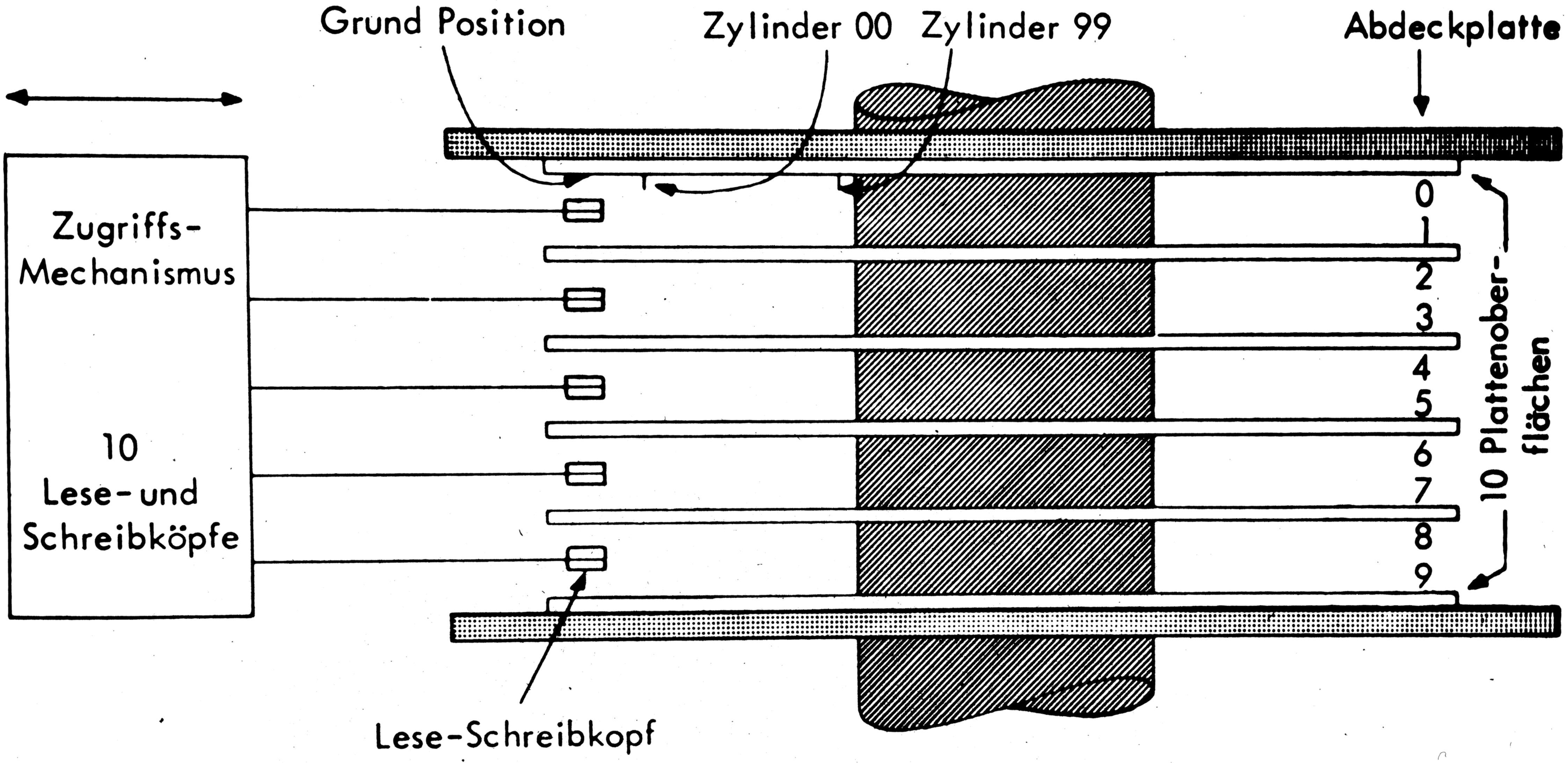

Grund Position
Zylinder 00
Zylinder 99
Abdeckplatte
Zugriffs-Mechanismus
10 Lese- und Schreibköpfe
0
1
2
3
4
5
6
7
8
9
10 Plattenoberflächen
Lese-Schreibkopf

Bild 48. Plattenspeicher mit Zugriffsmechanismus

Die mittlere Zugriffszeit der Plattenspeicher liegt, bedingt durch die Bewegung der kammartigen Arme und durch die gegenüber Trommeln etwas langsamere Rotationsgeschwindigkeit, im Bereich von 100 Millisekunden. Nach Ablauf dieser Zugriffszeit steht die Information allerdings mit Bit-Raten von 10^5 bis 10^6 Bit/s zur Verfügung, so daß dann große Datenmengen schnell umgeschlagen werden können, was für Suchoperationen und Blocktransfers von großem Vorteil ist.

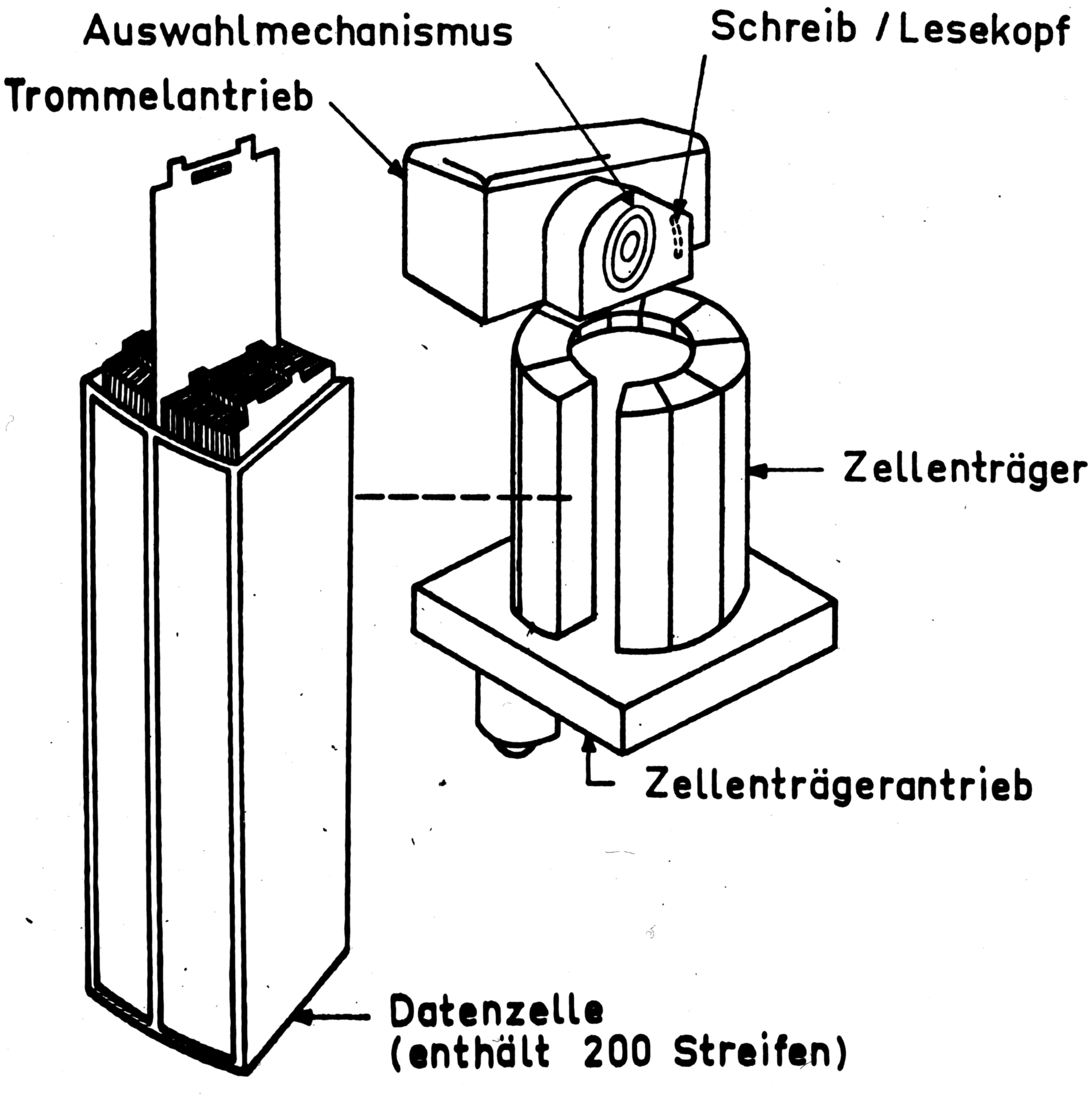

Auswahlmechanismus
Schreib / Lesekopf
Trommelantrieb
Zellenträger
Zellenträgerantrieb
Datenzelle (enthält 200 Streifen)

Bild 49. Streifenspeicher

d) Kassettenspeicher

Obwohl die mit Plattenspeichern erzielbaren Kapazitäten schon beträchtlichen Umfang haben, suchte man nach Möglichkeiten, sie unter Beibehaltung des wahlfreien Zugriffs weiter zu steigern. Dabei mußte man unbedingt für eine räumlich dichte Packung der Speicherträger sorgen. Alle Speicherprinzipien der folgenden Kategorie haben gemeinsam, daß die Informationsträger, Magnetstreifen oder -karten oder Filmstreifen nunmehr in Kassetten dicht gepackt werden. Mit besonderen Mechanismen werden sie von dort selektiv herausgeholt und einem Lese-Schreibgerät zugeführt. Bild 49 zeigt dies am Beispiel eines Magnetstreifenspeichers, dessen Kassetten oder Datenzellen karussellförmig angeordnet sind. Jede der 10 Zellen enthält hier 200 Streifen, von denen einer maschinell ausgewählt, im Lese-Schreibmachanismus pneumatisch auf eine Trommel gespannt und wie bei der Magnettrommel gelesen oder beschrieben wird. Auf jedem Streifen befinden sich in 100 parallelen Spuren etwa $1{,}5 \cdot 10^6$ Bit, im ganzen Karussell also $3 \cdot 10^9$ Bit. Diese Kapazität von 10^9 Bit ist noch durchaus vergleichbar mit den größten Plattenspeichern. Da jedoch die handlichen und preiswerten Kassetten während des Betriebs ausgetauscht werden können, läßt sich leicht eine Archivkapazität von 10^{10} bis 10^{11} Bit aufbauen und betreiben.

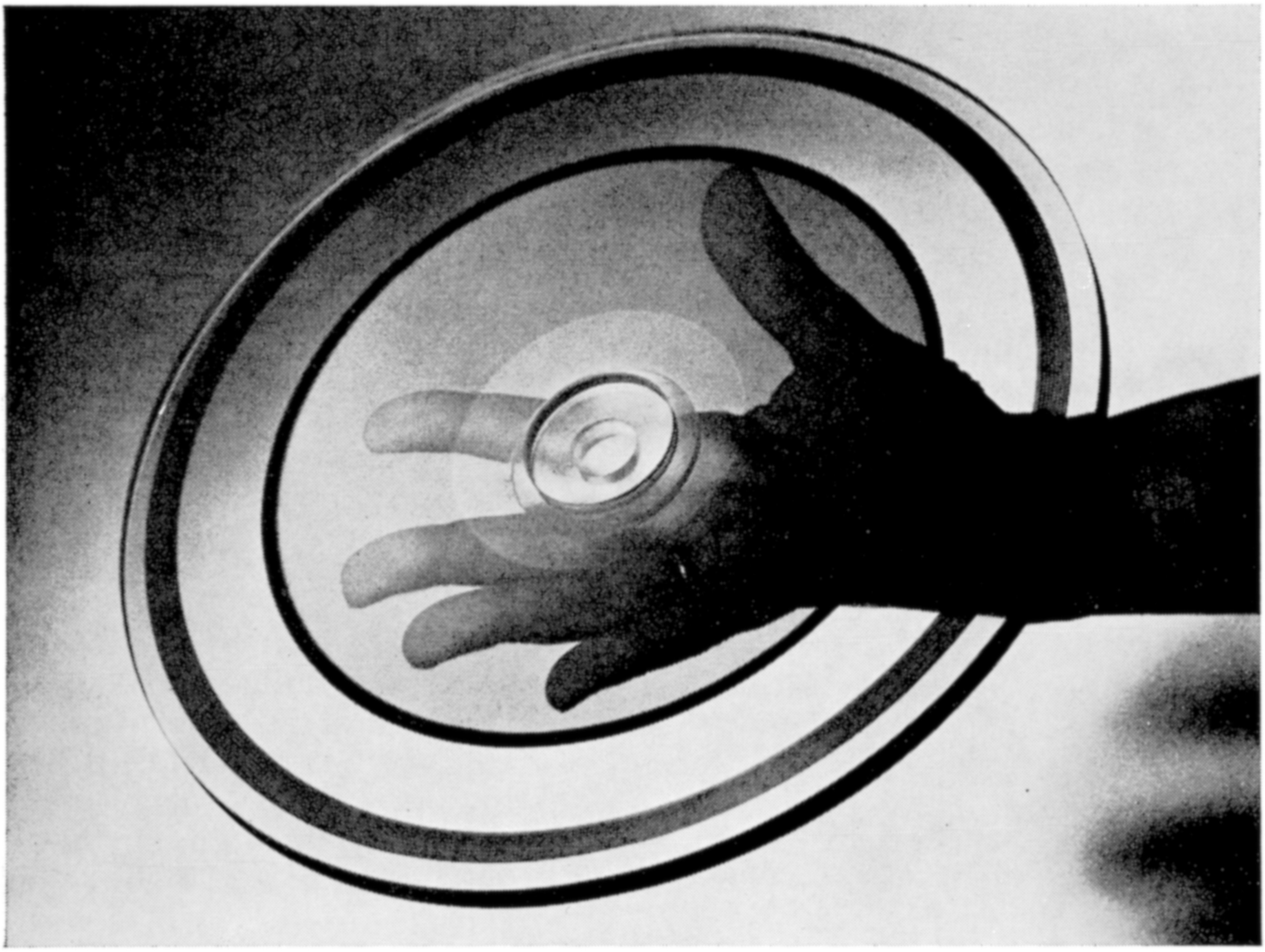


Bild 50. Fotospeicher

Mit zunehmender Kapazität der Großraumspeicher nehmen ihre Anordnungen immer mehr den Charakter des reinen Archivspeichers an. Dabei tritt immer seltener der Fall ein, daß gespeicherte Informationen änderbar sein sollen. Man konnte daher überlegen, den Vorteil der hohen Schreibgeschwindigkeit zugunsten von Zugriffszeit, Packungsdichte und Lesegeschwindigkeit aufzugeben. Statt Information zu löschen und neu zu schreiben, erneuert man einfach das Speichermedium. Es sind insbesondere Fotospeicher, welche sich in dieser Richtung durchzusetzen beginnen, aber auch die wohlbekannten Lochkartenarchive und Lochstreifenbibliotheken dürfen als Archivspeicher nicht übersehen werden. Ein bekanntes älteres Beispiel eines Archivspeichers ist der Fotospeicher zur Sprachübersetzung (Bild 50), bei dem ein Sprachlexikon samt Grammatik auf einer fotografisch erzeugten Glasscheibe in konzentrischen Spuren gespeichert ist. Die Scheibe rotiert, ein gesteuerter Lichtpunkt wählt die Spur aus und die Schwarzweißsignale werden von Fotovervielfachern abgetastet. Die Informationsdichte ist dabei erst durch die Wellenlänge des Lichts begrenzt, d. h., mit fotografischen Verfahren lassen sich höchste Speicherdichten erzielen. Bild 51 zeigt einen mikroskopischen Ausschnitt aus der Speicheraufzeichnung.

Eine Weiterentwicklung dieses Prinzips zum Kassettenspeicher besteht z. B. aus 650 0,75 mm dünnen Filmplatten, die mit Hilfe eines polarisationsmodulierten Laserstrahls mit einer Geschwindigkeit von 500 000 Bit/s einmalig beschrieben werden. Ein jüngeres Projekt eines amerikanischen Strahlungslaboratoriums sieht z. B. für die digitale Aufzeichnung von Elementarteilchenprozessen in Blasenkammern einen Kassettenspeicher mit fotografischen Filmstreifen mit einer Kapazität von $3 \cdot 10^{11}$ Bit vor. Nach vollständiger Auswertung der Information auf den Filmstreifen können diese durch neue ersetzt werden. Kapazitäten über 10^{11} Bit sind im übrigen keinesfalls utopisch. Sie werden überall dort zu verarbeiten sein, wo z. B. bildhafte Information digitalisiert werden muß.

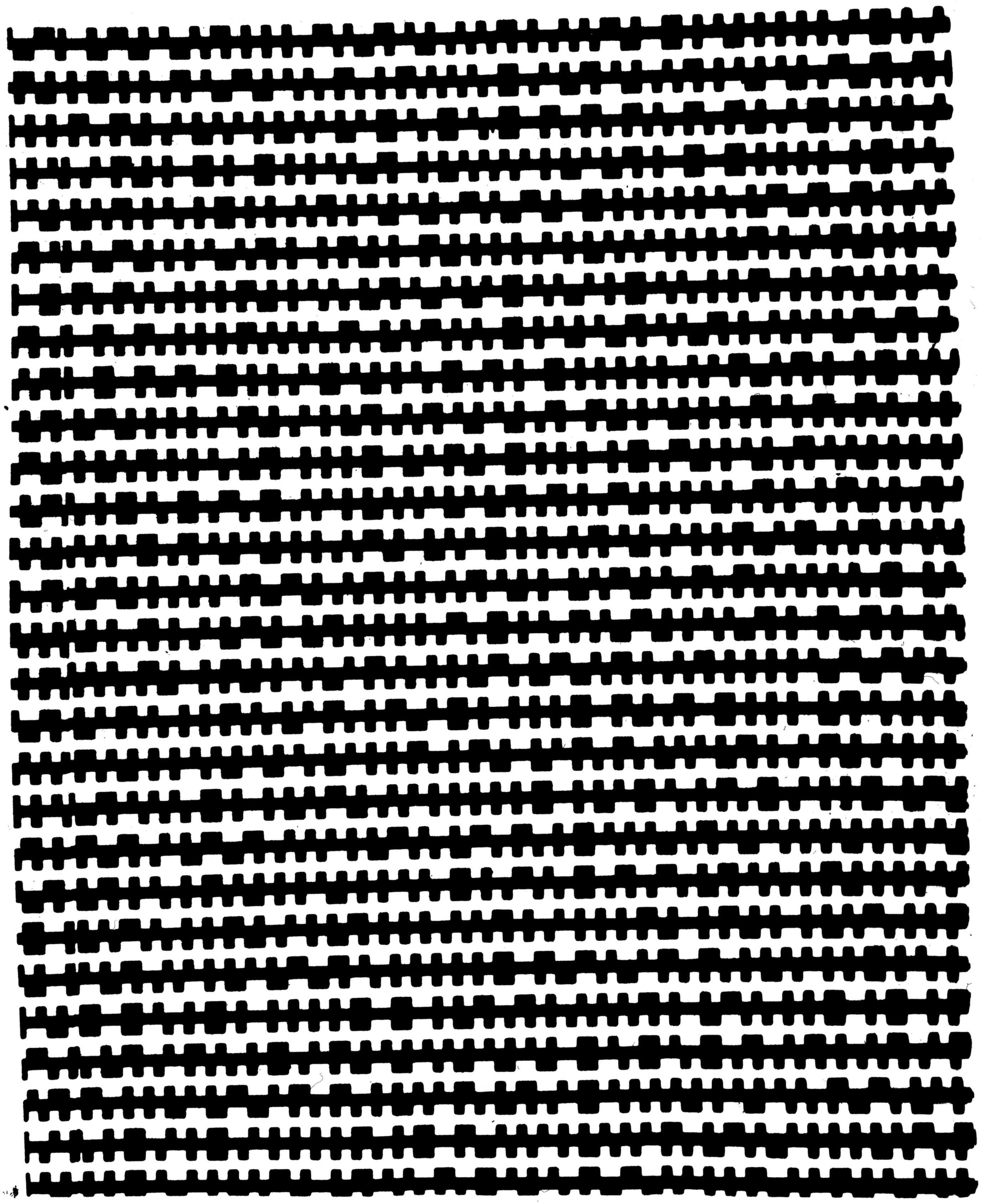


Bild 51. Fotospeicher. Ausschnitt

e) Organisation von externen Großraumspeichern

In modernen Systemen geht man allgemein dazu über, an eine Steuereinheit mehrere solcher Großraumspeicher anzuschließen und damit die verfügbare Gesamtkapazität bei gleichbleibender Zugriffszeit nochmals um einen Faktor 5 bis 10 zu steigern. Darüber hinaus können Gruppen von Großraumspeichern über mehrere Informationskanäle gleichzeitig mit einer Zentraleinheit arbeiten.

Das führt generell zu der Frage der Speicherorganisation. Voraussetzungen für ein einwandfreies Funktionieren einer hierarchisch aufgebauten Speicherorganisation sind die rechtzeitige Bereitstellung der Daten zur Verarbeitung durch rechtzeitiges Umspeichern und ein hierdurch bedingter automatischer, vorausschauender Befehlsablauf. Eine sinnvolle Organisation und Aufteilung des Daten- und Programmbestandes auf die verschiedenen Speicherebenen erleichtert das Aufsuchen der benötigten Programm- und Verarbeitungsdaten in einer Speicherhierarchie.

Bei Großraumspeichern mit wahlfreiem Zugriff unterscheidet man zwei Organisationsformen, die „fortlaufende“ und die „gestreute“ Speicherung. Bei der fortlaufenden Speicherung existiert eine lückenlos angelegte starre oder logisch fortlaufende Ordnung, während die gestreute Speicherung dort angewendet wird, wo immer wieder neue Informationen zwischen die vorhandenen eingeschoben werden müssen. Adreßkataloge für die fortlaufende und indirekte Adressierung für die gestreute Speicherung erleichtern das Auffinden der Information erheblich. Dabei können die Adreßkataloge selbst wieder ganze Speichereinheiten einer geringeren Größenordnung füllen, die allerdings entsprechend schnellere Zugriffszeiten haben müssen. Das Adressensuchen im Katalog sollte ja stets sehr viel schneller gehen als das Herbeischaffen der Information selbst.

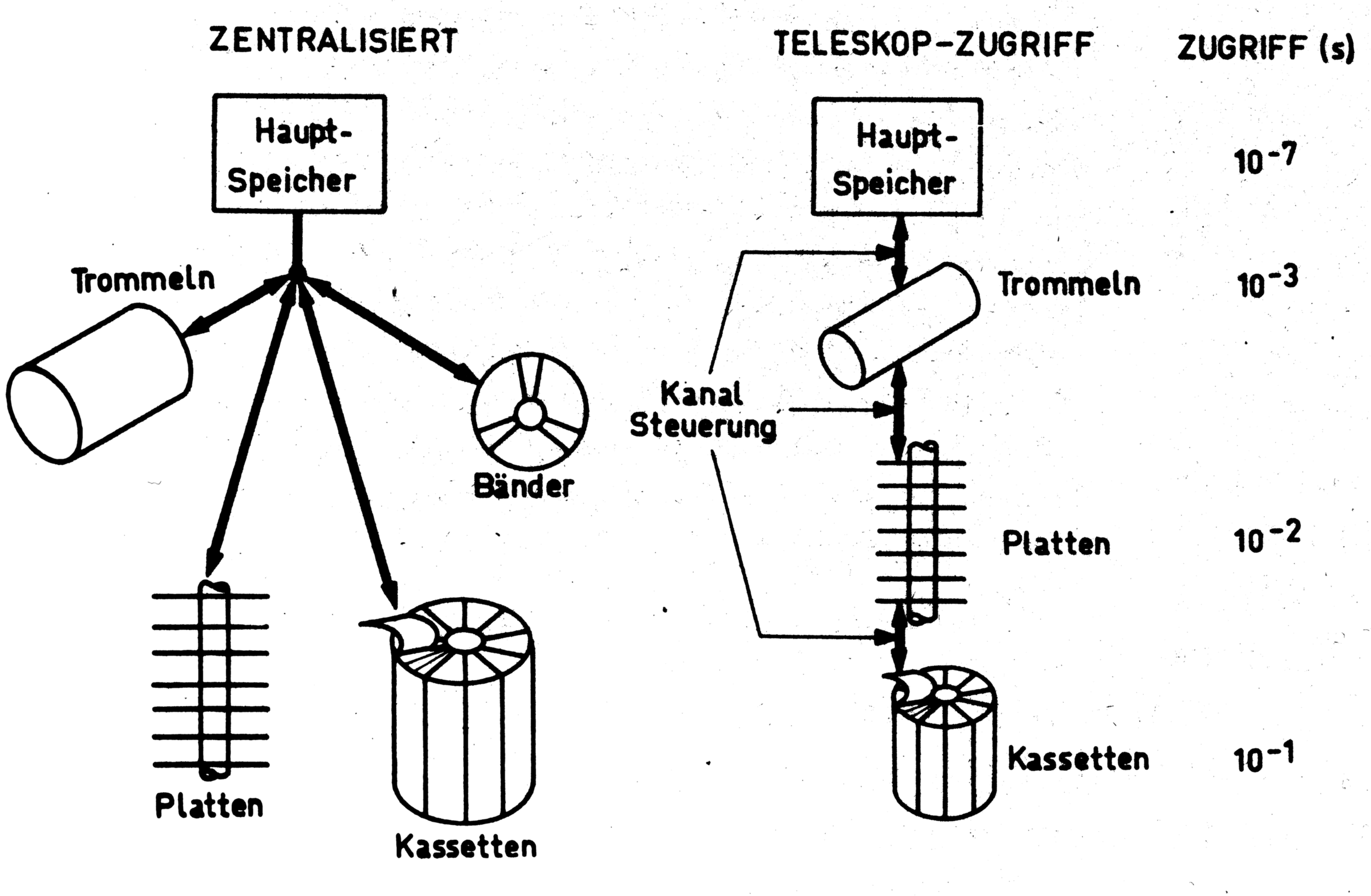


Bild 52.
Speicherhierarchien

Damit gelangt man zur Frage hierarchisch gegliederter Speichersysteme, bei denen grundsätzlich eine Anpassung an die gestaffelten Zugriffszeiten verschiedener Speicherarten in einer hierarchischen Ordnung erfolgt (Bild 52). Bis heute arbeitet man allerdings nur mit sternförmig zentralisierten Hierarchien. Die Idealvorstellung zeitlich teleskopierter Zugriffszeiten scheitert vorläufig noch an der Komplexität der erforderlichen Adressierungs- und Kanalsteuerungssysteme.

V. Schrifttum

1. K. Ganzhorn und W. Walter: „Die geschichtliche Entwicklung der Datenverarbeitung“. Jahrbuch des elektrischen Fernmeldewesens 1966.
2. IBM Systems Journal, Deutsche Ausgabe, April 1965.
3. P. Hofmann: „Der Wert eines Datenverarbeitungssystems“. IBM Nachrichten 174, Oktober 1965.
4. H. R. Wiehle, G. Seegmüller, W. Urich, F. Peischl: „A Monitor System for High-Speed Computers“. Elektronische Rechenanlagen 6 (1964), H. 3.
5. Sigurd Bayer: „Konzept der Eingabe/Ausgabe und der Vorrangverarbeitung beim System /360“. IBM Nachrichten 178, Juni 1966.
6. U. Geikowski, W. Schmidt: „Siemens-Datenverarbeitungssystem 4004, eine neue Familie elektronischer Datenverarbeitungsanlagen“. Anschluß peripherer Geräte (Teil II). Elektronische Rechenanlagen 8 (1966), H. 3.
7. Unterlagen der Firmen Telefunken bzw. Facit (Type LSL 100-4).
8. Friedrich Olf: „IBM Belegverarbeitungsmaschinen“. IBM Nachrichten 163, November 1963.
9. Unterlagen der Firma Bull Deutschland.
10. DIN 66007.
11. H. Schade: „Zur Normung von Schriftzeichen für maschinelle Zeichenerkennung“. Bürotechnik + Automation 5 (1964), H. 12.
12. John J. Leimer: „Design Factors in the Development of an Optical Character Recognition Machine“. IRE Transactions of the Professional Group on Information Theory, Volume II 8, Number 2, February 1962.
13. K. Steinbuch: „Automatische Zeichenerkennung“. Aus „Taschenbuch der Nachrichtenverarbeitung“. Herausgeber K. Steinbuch, Springer-Verlag, 1962.
14. Walter Sprick: „Der Beitrag der IBM zur Lösung des Problems des automatischen Erkennens handgeschriebener Zeichen“. IBM Nachrichten 163, November 1963.
15. E. C. Greanias, P. F. Meagher, R. J. Norman and P. Essinger: „The Recognition of Handwritten Numerals by Contour Analysis“. IBM Journal of Research and Development, Vol. 7, No. 1, Jan. 1963.
16. R. Hartwig: „Mechanische Schnelldrucker“. Aus „Taschenbuch der Nachrichtenverarbeitung“, 2. Auflage. Herausgeber K. Steinbuch, Springer-Verlag.
17. H. J. Tafel: „Siemens-Schnelldrucker, ein Typenrad-Zeilendrucker mit mechanischem Energiespeicher“. Elektronische Rechenanlagen, 4. Jahrgang 1962, Heft 4.
18. P. Wiebe: „Schnelldrucker SD1 für Datenverarbeitungsanlagen“. Siemens-Zeitschrift, 38. Jahrgang, April 1964, Heft 4.
19. M. Preisinger: „Nichtmechanische Schnelldrucker“. Aus „Taschenbuch der Nachrichtenverarbeitung“. Herausgeber K. Steinbuch, Springer-Verlag, 1962.
20. E. Webster: „The Impact of Non-Impact Printing“, Datamation, Sept. 1963.
21. W. Kulcke, T. J. Harris, K. Kosanke, E. Max: „A Fast Digital-Indexed Light Deflector“. IBM Journal of Research and Development, Vol. 8, No. 1, Jan. 1964.
22. Kenneth W. Hines: „Printing with Light“. Engineering Bulletin (Motorola Inc.), Third Issue, 1965.
23. Merkblätter A, B, C, E, F, Z der Deutschen Bundespost, Fernmeldetechnisches Zentralamt Abt. VIII, Darmstadt.
24. F. Nolle: „Datenfernverarbeitung — Datenübertragung über private und öffentliche Einrichtungen“. IBM Nachrichten 177, April 1966.
25. W. Giloi: „Stand und Aussichten der Rechneranwendung in industriellen Prozessen“. Fortschrittberichte VDI-Zeitschrift, Reihe 8 Nr. 7.
26. D. Ernst, H. Kaltenecker: „Einsatz von Prozeßrechnern“. Siemens-Zeitschrift, 39. Jahrgang, September 1965, Heft 3.
27. E. Krochmann: „Der Einsatz von Prozeßrechnern“. Umschau in Wissenschaft und Technik 1965, Heft 21.
28. **„Prozeßrechenanlagen, Interkama 1965“. Internationale Elektronische Rundschau 1965, Nr. 12.**
29. **W. Walter: „IBM Datenverarbeitungssysteme zur Führung industrieller Fertigungsprozesse“. Österreichische Ingenieurzeitschrift 1965, H. 12.**
30. **H. Schneider: „Digitale Meßtechnik“. Elektronik 7. Jahrgang, Juli 1958, Heft 7.**

31. VDI-Berichte Nr. 78 „Digitale Meßtechnik“.
32. E. Pavlik: „Pneumatische Stellgeräte im Blickfeld digitaler Prozeßregelungen“. Regelungstechnik, Heft 1 (14. Jahrgang 1966).
33. K. Ganzhorn, W. Walter: „Automatisierte Konstruktion“. Umschau in Wissenschaft und Technik 1967, Heft 2.
34. W. Meyer-Eppler: „Automatische Spracherkennung“. „Synthetische Sprache“. Aus „Taschenbuch der Nachrichtenverarbeitung“. Herausgeber K. Steinbuch, Springer-Verlag, 1962.
35. E. Rothauser: „Ein Impulsverfahren zur Sprachübertragung“. Dissertation, TH Wien, 1960.
36. G. Knauft, H. Lamparter, W. G. Spruth: „Some New Methods for Digital Encoding of Voice Signals and for Voice Code Translation“. IBM Journal of Research and Development, Vol. 10, No. 3, May 1966.
37. H. Schwarzer, B. Woehl, L. Märtin: „Speicher in der Nachrichtenverarbeitungstechnik“. Jahrbuch des elektrischen Fernmeldewesens 1966.
38. K. Ganzhorn: „Großraumspeicher und Festwertspeicher“. Die elektrische Ausrüstung, Heft 5, Oktober 1966, 7. Jahrgang.

Walter Bath

Die Anwendung der Datenverarbeitungstechnik im Fernmeldebau

I. Einleitung
II. Statistik des Fernmeldeleitungsnetzes (Fernmeldelinien)
III. Arbeitsplan und Nachweis der Leistungen
  1. Arbeitsplan (Soll)
  2. Nachweis der durchgeführten Leistungen (Ist)
  3. Zentrale Auswertungen
IV. Mastenstatistik
  1. Mastenabgangsstatistik
  2. Mastennachschutz
  3. Mastengrundschutz
V. Kostenermittlungen
  1. Ermittlung der Anschaffungskosten für Teile von Ortsnetzanlagen
  2. Preisbeobachtung
VI. Arbeitsaufwand im Kabelmeßdienst und Kabelfehlerstatistik
  1. Wochenbericht über den Arbeitsaufwand im Kabelmeßdienst
  2. Zusammenfassung der Meldungen über den Arbeitsaufwand und zur Kabelfehlerstatistik
VII. Anwendung der elektronischen Datenverarbeitung bei der Ortsnetzplanung
  1. Klärung von Planungsfragen in Einzelfällen
  2. Simulationsuntersuchungen
VIII. Ausblick
IX. Schrifttum

I. Einleitung

Im Aufgabenbereich der Linientechnik werden seit langem für verschiedenartige Zwecke Daten gesammelt, geordnet und ausgewertet. Die Notwendigkeit dafür ergab sich sowohl im Zusammenhang mit dem für eine zeitgemäße Betriebsführung unerläßlichen Berichtswesen als auch zur Vorbereitung von Entscheidungen und zur Ermittlung optimaler Lösungen in bestimmten Einzelfällen. Das Erfassen, Ordnen und Zusammenfassen der Daten geschah zunächst von Hand, später unter Zuhilfenahme der konventionellen Lochkartentechnik. Seit einigen Jahren werden Mittel der elektronischen Datenverarbeitung (EDV) eingesetzt, die eine wesentlich schnellere und vielseitigere Bearbeitung des Datenguts mit weniger Personal bei größerer Sicherheit ermöglichen [4, 7, 8]. So kann man heute auch auf diesem Gebiet Aufgaben in Angriff nehmen und lösen, für die früher der erforderliche Arbeitsaufwand viel zu hoch gewesen wäre.

Da zwischen den Daten aus verschiedenen statistischen Arbeitsgebieten der Linientechnik Beziehungen bestehen, muß man bei der Planung der Datenverarbeitung für die einzelnen Arbeitsgebiete von vornherein darauf achten, die Daten so eindeutig und sinnvoll verschlüsselt bestimmten Ordnungselementen zuzuordnen, daß sie bei

Bedarf jederzeit maschinell miteinander in Verbindung gebracht werden können [21]. Das setzt allerdings auch eine zweckmäßige Speicherung und leichte Zugriffsmöglichkeit voraus. Grundsätzlich muß das Datengut möglichst umfassend ausnutzbar sein. Wichtige Ordnungselemente, die bei allen Datenerfassungen wiederkehren und einheitlich verschlüsselt werden müssen, sind die Organisationseinheiten Fernmeldeamt (FA), Fernmeldebauabteilung (FBAbt), Fernmeldebaubezirk (FBBz), Fernmeldebautrupp (FBTr), Kabelmeßstelle (KMSt) usw. So ist jeder Fernmeldebautrupp und jeder Kabelmeßtrupp im ganzen Bereich der Deutschen Bundespost durch eine siebenstellige Ordnungszahl gekennzeichnet, wobei die ersten beiden Ziffern die Oberpostdirektion, die dritte und vierte Ziffer das Amt, die fünfte Ziffer die Bauabteilung — bei selbständigen Baubezirken steht hier eine Null —, die sechste Ziffer den Baubezirk und die siebente den Bautrupp bezeichnet, z. B.

24 83 02 1

OPD Münster FA 2 Bielefeld selbst. FBBz 2 FBTr 1

Andere für die Zuordnung von Daten wichtige Ordnungselemente sind die geographischen Einheiten Anschlußbereich, Ortsnetzbereich und Knotenvermittlungsstellenbereich, die durch das System der aus der Vermittlungstechnik bekannten Ortsnetzkennzahlen eindeutig bezeichnet werden. Wie die zu verarbeitenden Daten verschlüsselt werden, richtet sich nach der Art der Daten selbst und nach dem Ziel der Verarbeitung [10]. Dabei spielen die drei Gesichtspunkte Klassifikation, Identifikation und Information eine Rolle.

II. Statistik des Fernmeldeleitungsnetzes (Fernmeldelinien)

Beim Betrieb eines Fernmeldeleitungsnetzes braucht man für verschiedene Zwecke statistische Unterlagen. Die Deutsche Bundespost führt eine Statistik über das Fernmeldeleitungsnetz (St F 6), die in die beiden Abschnitte „Fernmeldelinien“ (St F 6 a) und „Fernmeldefernleitungen“ (St F 6 b) gegliedert ist. Die Statistik der Fernmeldelinien umfaßt alle Teile des Fernmeldeleitungsnetzes, mit denen das Fernmeldebauwesen zu tun hat. Sie werden bei den Linien- und Zeichenstellen der Fernmeldeämter in Plänen und Karteien erfaßt. Für die Ortsnetze ist die Statistik grundsätzlich in Form von Stücklisten an das Planzeug gebunden [23]. Die Grundlage für die Stücklisten bilden für das oberirdische Netz Stützpunktnachweise, für das unterirdische Netz Netzpläne, Kabellängenpläne und Kabelschachtkarteien.

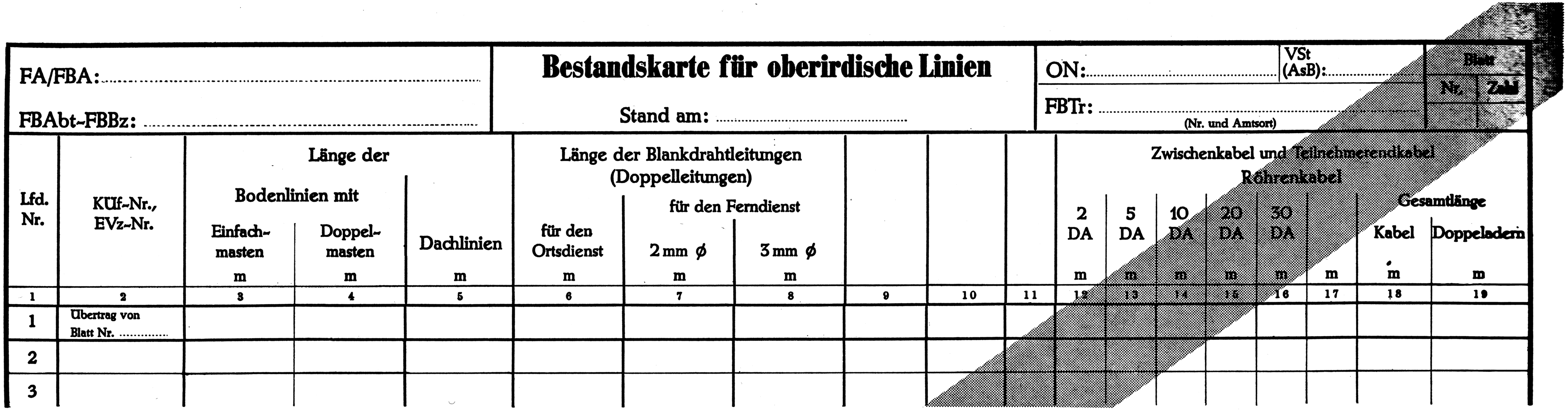
Zu jedem Stützpunktnachweis für eine oberirdische Linie gehört eine Stückliste, in der die im Stützpunktnachweis enthaltenen Leitungen usw. zusammengestellt sind. Die Summen aus den Stücklisten eines Ortsnetzes gehen in die **Bestandskarte für oberirdische Linien** über (Bild 1 a). Sie wird für jede Erhebung neu aufgestellt und enthält die Angabe des Ortsnetzes, ggf. des Anschlußbereiches und des Erhebungszeitpunktes. Für jede Stückliste ist eine Zeile in der Bestandskarte zu verwenden.

Die Kanal- und Ortskabelanlagen werden in folgenden vier Stücklisten erfaßt: Stückliste 1 a (für Kabelkanalanlagen, Verzweigungs- und Endeinrichtungen und Luft-Ask mit einer Leiterdicke von 0,6 mm und darüber), Stückliste 1 b (für Ask-Röhren-, Erd- und Flußkabel mit Leiterdicken von 0,6 mm und darüber), Stückliste 2 (für Ask-Röhren-, Erd- und Flußkabel mit 0,4 mm dicken Leitern) und Stückliste 3 (für OVk-Röhren- und Erdkabel mit 0,6, 0,8, 0,9 und mehr mm dicken Leitern). Jede Stückliste gehört zu einem bestimmten Netzplanblatt und wird ständig auf dem laufenden gehalten. Die Summen aus den einzelnen Stücklisten werden in die je Ortsnetz bzw. Anschlußbereich aufzustellenden **Bestandskarten für Kanal- und Ortskabelanlagen** übernommen, von denen es entsprechend den verschiedenen Stücklisten ebenfalls vier Ausführungen gibt. Bild 1 b zeigt die Bestandskarte zur Stückliste 3, in der die Ortsverbindungskabel erfaßt werden. Jede Bestandskarte enthält die Angabe des Ortsnetzes, ggf. des Anschlußbereiches und des Erhebungszeitpunktes.

Die Angaben aus den Bestandskarten wurden bis zum Jahre 1964 von den Fernmeldeämtern einmal jährlich zu Amtssummen aufgerechnet und dem FTZ/PTZ zur Zusammenstellung der Bundesstatistik gemeldet. Hier wurden die OPD- und Bundessummen und bestimmte Zu- und Abgänge als Absolut- und Verhältniszahlen im Handrechenverfahren errechnet.

Seit der Einführung neuer Planungsgrundsätze und -verfahren für die Fernmeldeortsnetze wurde in zunehmendem Maße das Bedürfnis für die Auswertung von Netzdaten auf Ortsnetzebene erkennbar. Auch für zentrale Organisationsüberlegungen reichen die auf Amtsebene verdichteten Daten nicht aus. Das FTZ prüfte daher die Möglichkeit, die Netzdaten bereits aus den Bestandskarten unmittelbar zu übernehmen. Da die Bestandskarten zum Ablochen beim Rechenzentrum (RZ) nicht geeignet sind, wurden besondere Lochbelege geschaffen, in die die Ortsnetz- bzw. Anschlußbereichssummen aus den Bestandskarten eingetragen werden. Die Daten eines Ortsnetzes oder Anschlußbereiches erscheinen dabei jeweils auf einer Zeile. Die Lochbelege tragen die Bezeichnung St F 6a/KA 2 bis KA 11 sowie KA 20—22. Jeder **Lochbeleg** KA 2, KA 3 usw. entspricht einer bestimmten Lochkarte („Karten-Art"), die für die weitere Bearbeitung an der Ziffer 2, 3 usw. erkannt werden kann. Dadurch ist es möglich, die verschiedenen Kartenarten unterschiedlichen Sortierungen und Rechengängen zu unterziehen.

KA 2: Ergänzende Angaben zur St F 6a, wie Flächengröße, Einwohnerzahl, Zahl der vorhandenen und der belegten Beschaltungseinheiten und Zahl der vorhandenen Sprechstellen je Ortsnetz bzw. Anschlußbereich (Bild 1 c),
KA 3: Bestand an Linien und Leitungen nach der Bestandskarte für oberirdische Linien,
KA 4: Bestand an Kabelanlagen nach der Bestandskarte für Kanal- und Ortskabelanlagen zur Stückliste 1 a,
KA 5: Bestand an Verzweigungs- und Endeinrichtungen nach der Bestandskarte für Kanal- und Ortskabelanlagen zur Stückliste 1 a,
KA 6: Bestand an Anschlußkabeln (Röhrenkabel mit Leiterdicke gleich oder größer 0,6 mm) nach der Bestandskarte für Kanal- und Ortskabelanlagen zur Stückliste 1 b,



FA/FBA: ....

FBAbt-FBBz: ....

Bestandskarte für oberirdische Linien

Stand am: ....

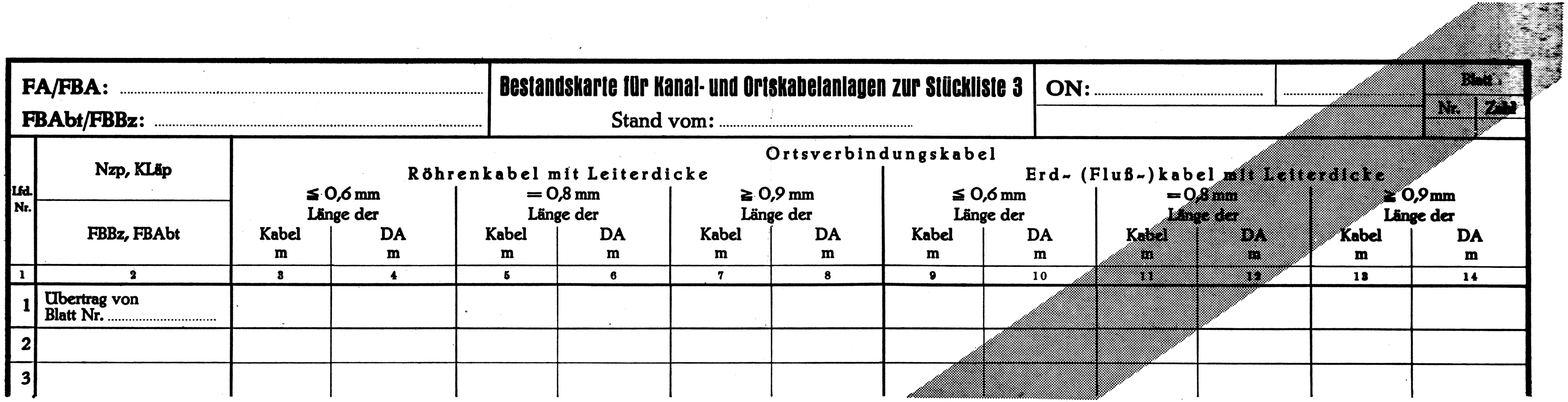
ON: .... VSt (AsB): ....

FBTr: .... (Nr. und Amtsort)

Blatt Nr. | Zahl

Lfd. Nr.	KÜf-Nr., EVz-Nr.	Länge der Bodenlinien mit Einfachmasten	Länge der Bodenlinien mit Doppelmasten	Dachlinien	Länge der Blankdrahtleitungen (Doppelleitungen) für den Ortsdienst	für den Ferndienst 2 mm ϕ	für den Ferndienst 3 mm ϕ				Zwischenkabel und Teilnehmerendkabel Röhrenkabel 2 DA	5 DA	10 DA	20 DA	30 DA		Gesamtlänge Kabel	Gesamtlänge Doppeladern
		m	m	m	m	m	m				m	m	m	m	m	m	m	m
1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19
1	Übertrag von Blatt Nr.																	
2																		
3																		

Bild 1 a. Bestandskarte für oberirdische Linien



FA/FBA: ....

FBAbt/FBBz: ....

Bestandskarte für Kanal- und Ortskabelanlagen zur Stückliste 3

Stand vom: ....

ON: ....

Blatt Nr. | Zahl

Lfd. Nr.	Nzp, KLäp FBBz, FBAbt	Ortsverbindungskabel Röhrenkabel mit Leiterdicke ≤ 0,6 mm Länge der Kabel	DA	= 0,8 mm Länge der Kabel	DA	≥ 0,9 mm Länge der Kabel	DA	Erd- (Fluß-)kabel mit Leiterdicke ≤ 0,6 mm Länge der Kabel	DA	= 0,8 mm Länge der Kabel	DA	≥ 0,9 mm Länge der Kabel	DA
		m	m	m	m	m	m	m	m	m	m	m	m
1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14
1	Übertrag von Blatt Nr.												
2													
3													

Bild 1 b. Bestandskarte für Kanal- und Ortskabelanlagen zur Stückliste 3

FA/FBA:	Dienststelle:
ONKz: Fernsprecher: /	Nebenstelle:

Ergänzende Angaben zur St F 6a (Leitungsnetz für den Ortsdienst) Stand am 31. Dezember 1966	St F 6a	
	KA 2	Blatt

Lochkartenspalte	FA/FBA-Nr.:	Rj.	KA
		196 6	02
	1 4	78	7980

Name des Ortsnetzes oder Anschlußbereiches	Zahl der AsB (VSt)	Ordnungsnummer:					Flächengröße 1) des ON (oder AsB) in ha	Einwohnerzahl 1) des ON (des AsB)	Zahl der vorhandenen BE im ON (im AsB) St	Zahl der belegten BE im ON (im AsB) St	Zahl der Sprechstellen im ON (im AsB) St	Bemerkungen
		Ortsnetz-Kennzahl	Gruppen-VSt	Untergruppen-VSt	Voll-VSt	Teil-VSt						
	5 6	7 11	12			15	16 23	24 31	32 39	40 47	48 55	

Bild 1 c. Lochbeleg KA 2

FA/FBA:	Dienststelle:
ONKz: Fernsprecher: /	Nebenstelle:

Bestand an Anschlußkabeln nach der Bestandskarte für Kanal- und Ortskabelanlagen zur Stückliste 2 Stand am 31. Dezember 1966	St F 6a	
	KA 8	Blatt

Lochkartenspalte	FA/FBA-Nr.:	Rj.	KA
		196 6	08
	1 4	78	79 80

Name des Ortsnetzes oder Anschlußbereiches	ON, AsB		Anschlußkabel mit Leiterdicke 0,4 mm Röhrenkabel				Bemerkungen
			Länge der Kabel		Länge der Doppeladern in Kabeln		
	(ONKz)	(AsB)	bis 100 DA m	über 100 DA m	bis 100 DA m	über 100 DA m	
	7 11	12 15	16 23	24 31	32 40	41 49	

Bild 1 d. Lochbeleg KA 8

(Bilder 1 a bis 1 d jeweils Kopfleiste der Vorderseite)

KA 7: Bestand an Anschlußkabeln (Erd- und Flußkabel mit Leiterdicke gleich oder größer 0,6 mm) nach der Bestandskarte für Kanal- und Ortskabelanlagen zur Stückliste 1 b,

KA 8: Bestand an Anschlußkabeln (Röhrenkabel mit Leiterdicke von 0,4 mm) nach der Bestandskarte für Kanal- und Ortskabelanlagen zur Stückliste 2 (Bild 1 d),

KA 9: Bestand an Anschlußkabeln (Erd- und Flußkabel mit Leiterdicke von 0,4 mm) nach der Bestandskarte für Kanal- und Ortskabelanlagen zur Stückliste 2,

KA 10: Bestand an Ortsverbindungskabeln (Röhrenkabel der verschiedenen Leiterdicken) nach der Bestandskarte für Kanal- und Ortskabelanlagen zur Stückliste 3,

KA 11: Bestand an Ortsverbindungskabeln (Erd- und Flußkabel der verschiedenen Leiterdicken) nach der Bestandskarte für Kanal- und Ortskabelanlagen zur Stückliste 3,

KA 20—22 sind auf einem Lochbeleg zusammengefaßt und enthalten in

KA 20: Bestand an Kabelanlagen des Fernnetzes,

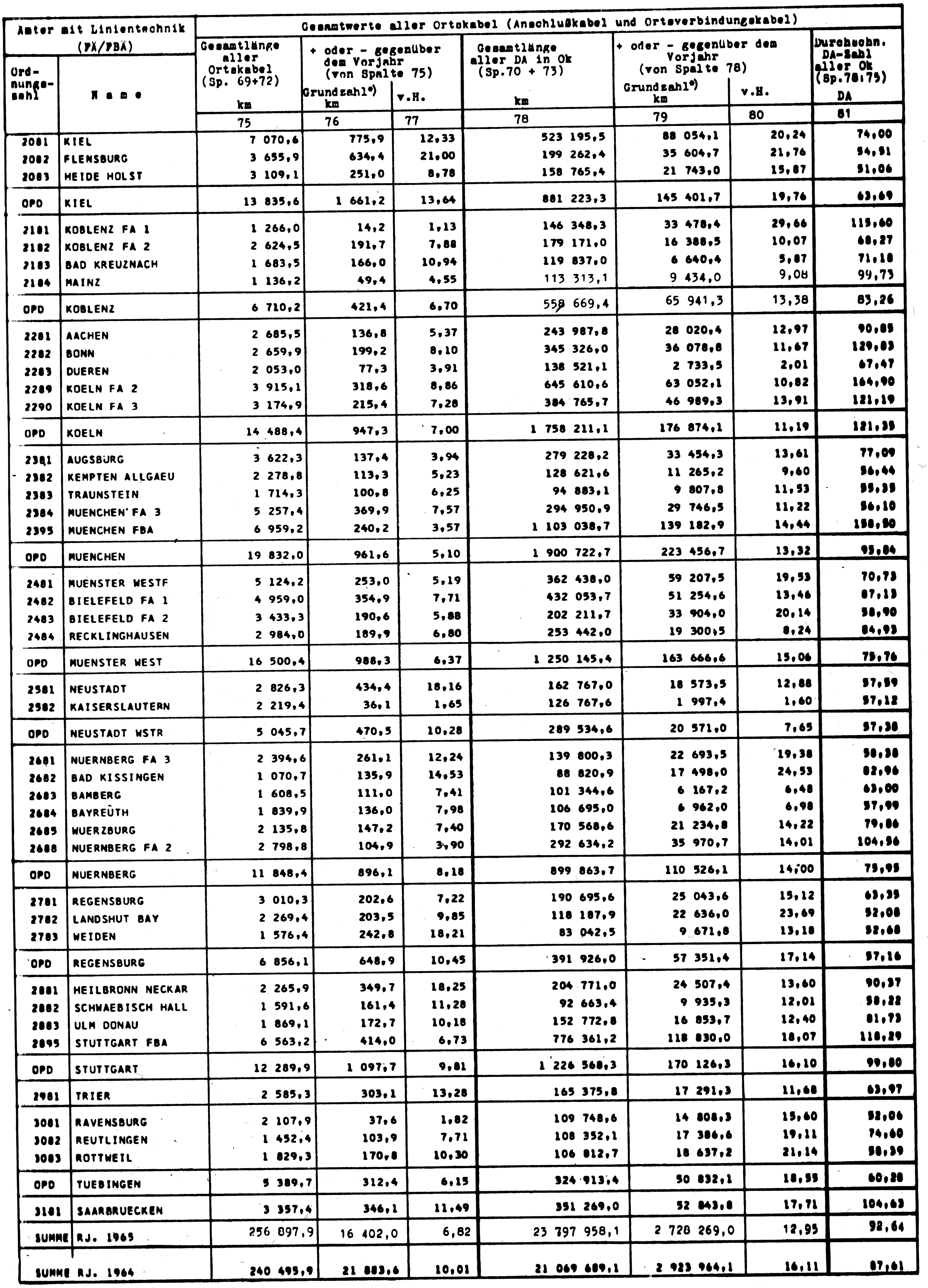
KA 21: Länge der symmetrischen Doppeladern in den Kabeln der KA 20,

KA 22: Bestand an stationären Druckluftüberwachungsanlagen in Ortsvermittlungsstellen und an von der Deutschen Bundespost zu unterhaltenden Leitungen von Privat-Fernmeldeanlagen.

In allen Lochbelegen ist die Möglichkeit vorgesehen, Berichtigungen der im Vorjahr gemeldeten Bestandszahlen zu vermerken, nämlich Zu- und Abgänge durch Änderung der Bereichsgrenzen des betreffenden Amtes, Abgabe von Netzteilen an andere Verwaltungen (z. B. oberirdische Linien an die Deutsche Bundesbahn) und Irrtümer in vorhergehenden Meldungen.

Nach eingehenden Betriebsversuchen und Erprobungen, die im Jahre 1962 begannen, wurde die zentrale Aufbereitung der Fernmeldelinien-Statistik St F 6a mit dem Aufstellungsstichtag 31. 12. 1965 voll in die elektronische Datenverarbeitung übernommen. Die Fernmeldeämter übersenden dem FTZ die Lochbelege. Nach dem Ablochen des Datenmaterials, wobei jährlich etwa 30 bis 35 Tausend Lochkarten anfallen, werden die Bestandszahlen der Ortsnetze und Anschlußbereiche je Fernmeldeamt aufgelistet. Gleichzeitig werden absolute und relative Zu- und Abgänge gegenüber dem Vorjahr und bedeutsam erscheinende Verhältniszahlen errechnet. Um grobe Fehler in dem erfaßten Datengut auszuschließen, müssen maschinelle Kontrollen, die auf logischen Zusammenhängen der Daten beruhen, in das Programm eingebaut werden [6].

Die Amtslisten gehen den Fernmeldeämtern zur Überprüfung und weiteren Verwendung zu. Sie werden dort vor allem als Grundlage für die Veranschlagung der zur Unterhaltung des Netzes notwendigen Arbeiten gebraucht. Außerdem liefert die Statistik Zahlen, die die Amtsleitungen für eine sinnvolle Steuerung des Baudienstes benötigen. Die auf Amts-, OPD- und Bundeswerte verdichteten Zahlen werden jährlich veröffentlicht, wobei die vom Rechenzentrum gelieferten Tabellen unmittelbar als Druckvorlagen dienen. Bild 2 zeigt eine Seite aus dieser Veröffentlichung. Das Datenmaterial steht ortsnetz- und anschlußbereichsweise jederzeit dem FTZ für kurzfristig durchführbare Sonderauswertungen (z. B. Ermittlung der mittleren Anschlußleitungslänge je Hauptanschluß für Anschlußbereiche bestimmter Größe bzw. Struktur) zur Verfügung.



Ämter mit Linientechnik (FÄ/FBÄ)		Gesamtwerte aller Ortskabel (Anschlußkabel und Ortsverbindungskabel)						
Ordnungszahl	Name	Gesamtlänge aller Ortskabel (Sp. 69+72) km	+ oder – gegenüber dem Vorjahr (von Spalte 75)		Gesamtlänge aller DA in Ok (Sp.70 + 73) km	+ oder – gegenüber dem Vorjahr (von Spalte 78)		Durchschn. DA-Zahl aller Ok (Sp.78:75) DA
			Grundzahl*) km	v.H.		Grundzahl*) km	v.H.	
		75	76	77	78	79	80	81
2081	KIEL	7 070,6	775,9	12,33	523 195,5	88 054,1	20,24	74,00
2082	FLENSBURG	3 655,9	634,4	21,00	199 262,4	35 604,7	21,76	54,51
2083	HEIDE HOLST	3 109,1	251,0	8,78	158 765,4	21 743,0	15,87	51,06
OPD	KIEL	13 835,6	1 661,2	13,64	881 223,3	145 401,7	19,76	63,69
2181	KOBLENZ FA 1	1 266,0	14,2	1,13	146 348,3	33 478,4	29,66	115,60
2182	KOBLENZ FA 2	2 624,5	191,7	7,88	179 171,0	16 388,5	10,07	68,27
2183	BAD KREUZNACH	1 683,5	166,0	10,94	119 837,0	6 640,4	5,87	71,18
2184	MAINZ	1 136,2	49,4	4,55	113 313,1	9 434,0	9,08	99,73
OPD	KOBLENZ	6 710,2	421,4	6,70	558 669,4	65 941,3	13,38	83,26
2281	AACHEN	2 685,5	136,8	5,37	243 987,8	28 020,4	12,97	90,85
2282	BONN	2 659,9	199,2	8,10	345 326,0	36 078,8	11,67	129,83
2283	DUEREN	2 053,0	77,3	3,91	138 521,1	2 733,5	2,01	67,47
2289	KOELN FA 2	3 915,1	318,6	8,86	645 610,6	63 052,1	10,82	164,90
2290	KOELN FA 3	3 174,9	215,4	7,28	384 765,7	46 989,3	13,91	121,19
OPD	KOELN	14 488,4	947,3	7,00	1 758 211,1	176 874,1	11,19	121,35
2381	AUGSBURG	3 622,3	137,4	3,94	279 228,2	33 454,3	13,61	77,09
2382	KEMPTEN ALLGAEU	2 278,8	113,3	5,23	128 621,6	11 265,2	9,60	56,44
2383	TRAUNSTEIN	1 714,3	100,8	6,25	94 883,1	9 807,8	11,53	55,35
2384	MUENCHEN FA 3	5 257,4	369,9	7,57	294 950,9	29 746,5	11,22	56,10
2395	MUENCHEN FBA	6 959,2	240,2	3,57	1 103 038,7	139 182,9	14,44	158,50
OPD	MUENCHEN	19 832,0	961,6	5,10	1 900 722,7	223 456,7	13,32	95,84
2481	MUENSTER WESTF	5 124,2	253,0	5,19	362 438,0	59 207,5	19,53	70,73
2482	BIELEFELD FA 1	4 959,0	354,9	7,71	432 053,7	51 254,6	13,46	87,13
2483	BIELEFELD FA 2	3 433,3	190,6	5,88	202 211,7	33 904,0	20,14	58,90
2484	RECKLINGHAUSEN	2 984,0	189,9	6,80	253 442,0	19 300,5	8,24	84,93
OPD	MUENSTER WEST	16 500,4	988,3	6,37	1 250 145,4	163 666,6	15,06	75,76
2581	NEUSTADT	2 826,3	434,4	18,16	162 767,0	18 573,5	12,88	57,59
2582	KAISERSLAUTERN	2 219,4	36,1	1,65	126 767,6	1 997,4	1,60	57,12
OPD	NEUSTADT WSTR	5 045,7	470,5	10,28	289 534,6	20 571,0	7,65	57,38
2681	NUERNBERG FA 3	2 394,6	261,1	12,24	139 800,3	22 693,5	19,38	58,38
2682	BAD KISSINGEN	1 070,7	135,9	14,53	88 820,9	17 498,0	24,53	82,96
2683	BAMBERG	1 608,5	111,0	7,41	101 344,6	6 167,2	6,48	63,00
2684	BAYREUTH	1 839,9	136,0	7,98	106 695,0	6 962,0	6,98	57,99
2685	WUERZBURG	2 135,8	147,2	7,40	170 568,6	21 234,8	14,22	79,86
2688	NUERNBERG FA 2	2 798,8	104,9	3,90	292 634,2	35 970,7	14,01	104,56
OPD	NUERNBERG	11 848,4	896,1	8,18	899 863,7	110 526,1	14,00	75,95
2781	REGENSBURG	3 010,3	202,6	7,22	190 695,6	25 043,6	15,12	63,35
2782	LANDSHUT BAY	2 269,4	203,5	9,85	118 187,9	22 636,0	23,69	52,08
2783	WEIDEN	1 576,4	242,8	18,21	83 042,5	9 671,8	13,18	52,68
OPD	REGENSBURG	6 856,1	648,9	10,45	391 926,0	57 351,4	17,14	57,16
2881	HEILBRONN NECKAR	2 265,9	349,7	18,25	204 771,0	24 507,4	13,60	90,37
2882	SCHWAEBISCH HALL	1 591,6	161,4	11,28	92 663,4	9 935,3	12,01	58,22
2883	ULM DONAU	1 869,1	172,7	10,18	152 772,8	16 853,7	12,40	81,73
2895	STUTTGART FBA	6 563,2	414,0	6,73	776 361,2	118 830,0	18,07	118,29
OPD	STUTTGART	12 289,9	1 097,7	9,81	1 226 568,3	170 126,3	16,10	99,80
2981	TRIER	2 585,3	303,1	13,28	165 375,8	17 291,3	11,68	63,97
3081	RAVENSBURG	2 107,9	37,6	1,82	109 748,6	14 808,3	15,60	52,06
3082	REUTLINGEN	1 452,4	103,9	7,71	108 352,1	17 386,6	19,11	74,60
3083	ROTTWEIL	1 829,3	170,8	10,30	106 812,7	18 637,2	21,14	58,39
OPD	TUEBINGEN	5 389,7	312,4	6,15	324 913,4	50 832,1	18,55	60,28
3181	SAARBRUECKEN	3 357,4	346,1	11,49	351 269,0	52 843,8	17,71	104,63
SUMME	RJ. 1965	256 897,9	16 402,0	6,82	23 797 958,1	2 728 269,0	12,95	92,64
SUMME RJ. 1964		240 495,9	21 883,6	10,01	21 069 689,1	2 923 964,1	16,11	87,61

Bild 2. Musterseite aus Fernmeldelinien-Statistik Si F 6 a

III. Arbeitsplan und Nachweis der Leistungen

1. Arbeitsplan (Soll)

Vor mehr als 30 Jahren wurde im Fernmeldebaudienst der Arbeits- und Wirtschaftsplan eingeführt. In diesem vor Beginn des Rechnungsjahres aufzustellenden Plan sollte veranschlagt werden, welcher Aufwand an Personal und Geld voraussichtlich erforderlich ist, um die als notwendig erkannten Aufgaben zu erfüllen. Während des Rechnungsjahres wurde der tatsächliche Aufwand laufend erfaßt, um u. U. korrigierend eingreifen zu können und um einen Anhalt für die Verbesserung der Veranschlagung des nächsten Jahres zu gewinnen.

Als der Arbeits- und Wirtschaftsplan — jetzt Arbeits- und Haushaltsplan genannt — und der Nachweis der durchgeführten Leistungen nach einer durch den Krieg bedingten Unterbrechung wieder eingeführt wurden, war man sich darüber klar, daß diese Erhebungen wesentlich weiterentwickelt werden müßten, wenn sie die ihnen zugedachten Aufgaben erfüllen sollten. Das führte zu ihrer Umgestaltung nach Form und Inhalt und zu wiederholten Änderungen aller damit zusammenhängenden Formblätter. Der Arbeits- und Haushaltsplan wurde zu einem reinen Arbeitsplan.

Der Zweck des Arbeitsplanes für den Fernmeldebau (Apl) ist es, den in einem FA-Bezirk im kommenden Jahr erforderlichen Arbeitsumfang zu veranschlagen. Dabei ist zu klären, welche Arbeiten durch eigene Kräfte ausgeführt werden sollen und welche an Auftragnehmer vergeben werden. Darüber hinaus umfaßt der Arbeitsplan auch eine Bedarfsberechnung für eigene Kräfte. Die Arbeiten werden nach Leistungsarten aufgegliedert veranschlagt. Da man von vornherein sowohl für die Veranschlagung (Soll) als auch für die tatsächlich erzielten Leistungen (Ist) zentrale Auswertungen ins Auge gefaßt hatte, wurden seit 1957 die mit Kennummern bezeichneten Leistungsarten in ein System gebracht, das eine leichte und zweckmäßige Auswertung — zunächst noch in der konventionellen Lochkartentechnik — gestattete. Bei der Gestaltung des Verzeichnisses der Leistungsarten standen sich zwei Forderungen gegenüber: Auf der einen Seite der Wunsch nach weitgehender Unterteilung der Leistungen, um detaillierte Auswertungen zu ermöglichen, auf der anderen Seite das Bestreben zusammenzufassen, um den Dienststellen die Entscheidung über die Zuordnung bestimmter Arbeiten zu den Leistungsarten zu erleichtern. Da jedoch das über den Nachweis der Leistungen (NdL) zusammengetragene Datenmaterial auch für betriebswirtschaftliche Untersuchungen herangezogen werden soll, ist eine Unterteilung der Leistungsarten notwendig, die klare Aufschlüsse gibt und somit nicht in erster Linie auf Zusammenfassung von Leistungen bedacht ist.

Im Verzeichnis der Leistungsarten im Fernmeldebau wird jede zu veranschlagende und nachzuweisende Arbeitszeit einer bestimmten **Leistungskennummer (LKNr)** zugeordnet. Diese besteht aus einer vierstelligen und einer zweistelligen Zifferngruppe. Die erste Zifferngruppe entspricht einer Titelnummer des Titelverzeichnisses der Deutschen Bundespost oder lautet 0000. Durch die Kombination mit dem Titelverzeichnis werden die Leistungsarten unterschieden nach Betriebsarbeiten (erste Ziffer: 2) und nach Anlagearbeiten (erste Ziffer: 4) und innerhalb dieser Hauptgruppen wiederum nach Arbeiten

an Einrichtungen des Telegraphenwesens	(2410/410.),
an Teilnehmereinrichtungen des Fernsprechwesens	(2411/—),
an Vermittlungseinrichtungen des Fernsprechwesens	(2412/412.),
an Einrichtungen der Verstärkerstellen	(2413/413.),
an Funk- und Fernseheinrichtungen	(2414/414.),
am oberirdischen Leitungsnetz	(2415/415.),
an Kabelkanalanlagen	(2416/416.),
an Ortskabelanlagen	(2417/417.),
an Fern-, Bezirks- und Seekabelanlagen	(2418/418.).

Die Anlagearbeiten werden in der vierten Stelle (vorstehend durch Punkt dargestellt) noch weiter gegliedert. Unter der ersten Zifferngruppe 0000 werden die Arbeitszeiten zusammengefaßt, denen keine Titelnummer entspricht (Neben- und Aushilfsarbeiten; Abgabe, Abzug und Ausfall an Arbeitszeit).

In der zweiten, zweistelligen Zifferngruppe der Leistungskennnummer, werden die Betriebs- und Anlagearbeiten nach der Art der Tätigkeit und ihrem Gegenstand näher gekennzeichnet. Die erste Stelle unterscheidet die Art der Tätigkeit nach:

0	Herstellen,
1	Untersuchen, Prüfen,
2—5	Instandhalten,
6	Instandsetzen,
7	Ändern, Verlegen,
8	Abbrechen,
9	Verschiedenes, Zusammenfassungen.

Die zweite Stelle bezeichnet den Gegenstand der Arbeit, z. B. unter

2417 . .	Ortskabelanlagen
. . . . 7.	Ändern, verlegen:
. 1	Montage an Spleiß-, Ausgleichs- und Spulenmuffen (ohne Spleißarbeiten),
. 2	Spleißarbeiten in Spleiß-, Ausgleichs- und Spulenmuffen (je 10 Doppeladern = 1 Stück),
. 3	Montage von Endverschlüssen und Trennleisten,
. 4	Einlöten von Doppeladern in Endverschlüsse und Trennleisten (je 10 Doppeladern = 1 Stück)
. 5	Verlegen oder Auswechseln von Endverzweigern und Überführungsendverschlüssen,
. 6	Schaltungen in Linienverzweigern und Kabelverzweigern ausführen.

Die Arbeitszeiten, die unter 0000 in der ersten Zifferngruppe zusammengefaßt sind, werden durch die erste Stelle der zweiten Zifferngruppe der Leistungskennummer ausgewiesen als:

1	**Nebenarbeiten,**
3	**Aushilfsarbeiten,**
4	**Abgabe von Arbeitszeit,**
5	**Abzug von Arbeitszeit,**
6	**Ausfall von Arbeitszeit.**

Teil 1 des API
Arbeiten am ON einschl. oberirdischem Leitungsnetz
1. 1. Betriebsarbeiten
Teilnehmereinrichtungen

1

(Ordnungszahl des FA/FBA)

Rj. 196.......

Zeile	Leistungsart	LKNr	Zu bearbeiten im kommenden Rj.			Arbeitszeit je St	Arbeitszeit		
			insgesamt	durch			insgesamt	zu decken durch	
				eigene Kräfte	Auftragnehmer			eigene Kräfte	Auftragnehmer
			St	St	St	Stdn	Stdn	Stdn	Stdn
1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
1	Herstellen von Fernschreibanschlüssen	2410 01							
2	Instandsetzen von Fernschreibanschlüssen	61							
3	Innenverlegen von Fernschreibanschlüssen	71							
4	Abbrechen von Fernschreibanschlüssen	81							
5	**Summe: Arbeiten an Fernschreibanschlüssen (Z. 1 bis 4)**	**2410**	╳	╳	╳	╳			
6	Herstellen (einschl. Verlegungseinrichten) von HAs	2411 01							
7	Herstellen von NAs	02							
8	desgl. von Zusatzeinrichtungen	03							
9	desgl. von Vermittlungseinrichtungen von NStAnl	04	╳	╳	╳	╳			╳
10	desgl. von Einführungen für NPr, Ql, Abzl	05							
11	desgl. von LS-Warnstellen usw.	06							
12	Instandsetzen von HAs und NAs	61							
13	desgl. von Zusatzeinrichtungen	63							
14	desgl. von Vermittlungseinrichtungen von NStAnl	64	╳	╳	╳	╳			╳
15	desgl. von Beikästen für Zweieranschlüsse u. WStSch	65							
16	Innenverlegen von HAs und NAs	71							
17	desgl. von Zusatzeinrichtungen	73							
18	desgl. von Vermittlungseinrichtungen von NStAnl	74	╳	╳	╳	╳			╳
19	Umbau von Sprechstellenzuführungen	78							
20	Abbrechen (einschl. Verlegungsabbrechen) von HAs	81							
21	Abbrechen von NAs	82							
22	desgl. von Zusatzeinrichtungen	83							
23	desgl. von Vermittlungseinrichtungen von NStAnl	84	╳	╳	╳	╳			╳
24	Herstellen, Verlegen, Abbrechen von Beikästen für Zweieranschlüsse u. WStSch	92							
25	Andere Arbeiten an Teilnehmereinrichtungen	99	╳	╳	╳	╳			
26	**Summe: Arbeiten an Fernsprech-Teilnehmereinrichtungen (Z. 6 bis 25)**	**2411**	╳	╳	╳	╳			
27	**Summe: (Z. 5 und 26)**		╳	╳	╳	╳			

Bild 3. Einlageblatt 2 des Arbeitsplanes

Die zweite Ziffer der zweiten Zifferngruppe kennzeichnet die Art der Verwendung der betreffenden Arbeitszeit näher, z. B. bei

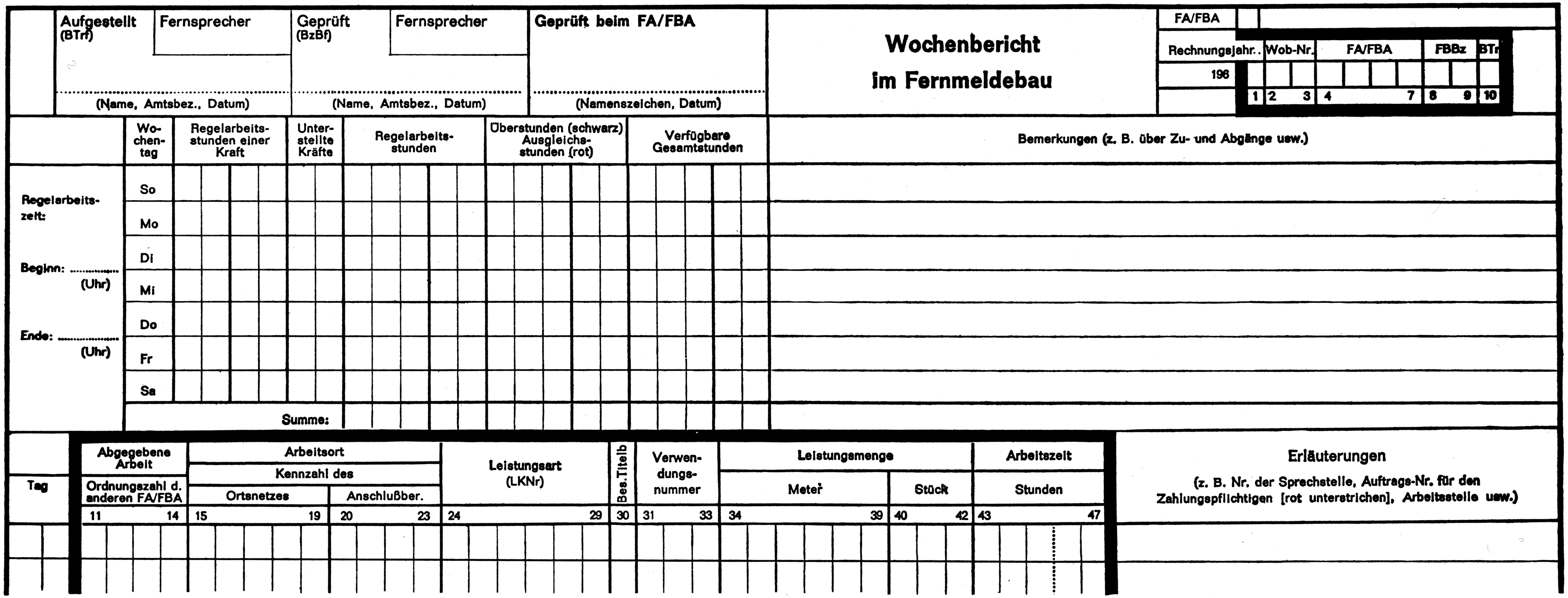
0000 5. Abzug von Arbeitszeit
. . . . .1 Krankheit,
. . . . .2 Erholungsurlaub,
. . . . .3 Wochenfeiertage,
. . . . .4 Personalversammlungen, Personalangelegenheiten, Dienstbefreiungen, Sonderurlaub,
. . . . .5 Lehrgänge,
. . . . .6 Dienstunterweisungen, Bleiuntersuchungen.

In der vorstehend erläuterten Systematik werden alle Fernmeldebauarbeiten, die durch eigene Kräfte oder durch Auftragnehmer ausgeführt werden, und die bei den eigenen Kräften anfallenden Zeiten für Nebenarbeiten, Ausfallzeiten usw. erfaßt. Die stets von Auftragnehmern auszuführenden Tiefbauarbeiten werden nicht in dieser Form veranschlagt.

Um ein leichtes und sicheres Ablochen der Daten aus der Veranschlagung zu ermöglichen, wurden die Formblätter für den Arbeitsplan, der aus einem Titelblatt und acht Einlageblättern besteht, entsprechend gestaltet. Bild 3 zeigt ein Blatt des Arbeitsplanes. Die für das Ablochen bestimmten Felder sind stark umrandet. In Spalte 4 wird die insgesamt zu bearbeitende Menge eingetragen. Über die veranschlagte Arbeitszeit je Stück (Spalte 7) wird die bei der betreffenden Leistungskennummer insgesamt erforderliche Arbeitszeit in Spalte 8 errechnet. Die Aufteilung auf eigene Kräfte und Auftragnehmer (Sp. 5/6 und 9/10) ergibt sich nach der Ermittlung der für das gesamte Amt im Jahr erforderlichen Stundenzahl auf Grund der allgemeinen Personal- und Mittellage. Ein Doppel des Arbeitsplanes erhält nach Genehmigung durch die Oberpostdirektion das FTZ, das die veranschlagten Daten beim Rechenzentrum Hannover ablochen läßt, um schon im Laufe des Jahres, auf das sich der Arbeitsplan bezieht, in den für die Fernmeldeämter zu fertigenden Listen über die durchgeführten Leistungen einen Soll-Ist-Vergleich durchführen zu können.

2. Nachweis der durchgeführten Leistungen (Ist)

Die Grundlage für den Nachweis der Jahresleistungen im Fernmeldebau, soweit sie von eigenen Kräften erbracht werden, ist der **„Wochenbericht im Fernmeldebau“ (Wob).** Er ist als Lochbeleg ausgebildet (Bild 4 a). Der Inhalt der stark umrandeten Felder wird abgelocht. Die Spalten 1 bis 10 enthalten Angaben über das Jahr und die Bezugswoche, sowie die verschlüsselte Bezeichnung des Fernmeldebautrupps. In Spalte 11 bis 14 wird bei Arbeiten für andere Fernmeldeämter, soweit ein gegenseitiger Ausgleich der Arbeitszeit vorgesehen ist, die Ordnungszahl des Amtes eingetragen, für das die Arbeit geleistet worden ist. Die Eintragungen in Spalte 15 bis 23 kennzeichnen den Arbeitsort durch die Ortsnetz- und Anschlußbereichs-Kennzahl. In Spalte 24 bis 29 wird die Art der Leistungen oder der Grund für den Ausfall von Arbeitszeit usw. — verschlüsselt durch die Leistungskennummer — angegeben. In Spalte 31 bis 33 wird die Ver-



Aufgestellt (BTrf) | Fernsprecher | (Name, Amtsbez., Datum)

Geprüft (BzBf) | Fernsprecher | (Name, Amtsbez., Datum)

Geprüft beim FA/FBA | (Namenszeichen, Datum)

Wochenbericht im Fernmeldebau

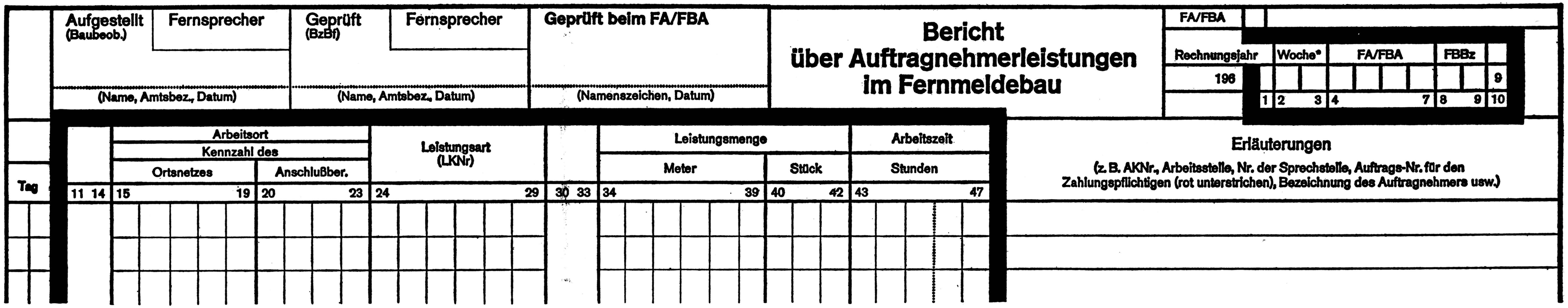
FA/FBA

Rechnungsjahr. 196 | Wob-Nr. | FA/FBA | FBBz | BTr
1 2 3 4 7 8 9 10

	Wochentag	Regelarbeitsstunden einer Kraft	Unterstellte Kräfte	Regelarbeitsstunden	Überstunden (schwarz) Ausgleichsstunden (rot)	Verfügbare Gesamtstunden	Bemerkungen (z. B. über Zu- und Abgänge usw.)
Regelarbeitszeit:	So						
	Mo						
Beginn: .... (Uhr)	Di						
	Mi						
Ende: .... (Uhr)	Do						
	Fr						
	Sa						
	Summe:						

Tag	Abgegebene Arbeit Ordnungszahl d. anderen FA/FBA	Arbeitsort Kennzahl des Ortsnetzes	Arbeitsort Kennzahl des Anschlußber.	Leistungsart (LKNr)	Bes.Titelb	Verwendungsnummer	Leistungsmenge Meter	Leistungsmenge Stück	Arbeitszeit Stunden	Erläuterungen (z. B. Nr. der Sprechstelle, Auftrags-Nr. für den Zahlungspflichtigen [rot unterstrichen], Arbeitsstelle usw.)
	11 14	15 19	20 23	24 29	30	31 33	34 39	40 42	43 47	

Bild 4 a. Wochenbericht im Fernmeldebau



Aufgestellt (Baubeob.) | Fernsprecher | (Name, Amtsbez., Datum)

Geprüft (BzBf) | Fernsprecher | (Name, Amtsbez., Datum)

Geprüft beim FA/FBA | (Namenszeichen, Datum)

Bericht über Auftragnehmerleistungen im Fernmeldebau

FA/FBA

Rechnungsjahr 196 | Woche* | FA/FBA | FBBz | 9
1 2 3 4 7 8 9 10

Tag		Arbeitsort Kennzahl des Ortsnetzes	Arbeitsort Kennzahl des Anschlußber.	Leistungsart (LKNr)		Leistungsmenge Meter	Leistungsmenge Stück	Arbeitszeit Stunden	Erläuterungen (z. B. AKNr., Arbeitsstelle, Nr. der Sprechstelle, Auftrags-Nr. für den Zahlungspflichtigen (rot unterstrichen), Bezeichnung des Auftragnehmers usw.)
	11 14	15 19	20 23	24 29	30 33	34 39	40 42	43 47	

Bild 4 b. Bericht über Auftragnehmerleistungen im Fernmeldebau
(jeweils Kopfleiste der Vorderseite)

wendungsnummer, die ein Bestandteil der im Bestellwesen benötigten Auftrags-Kennummer ist, vermerkt. Dazu kommt in Spalte 30 bei Arbeiten für Bauvorhaben, die mit Besonderem Titelbuch verrechnet werden, die letzte Ziffer des Rechnungsjahres, in dem das Besondere Titelbuch eingerichtet wurde. Die Spalten 34 bis 42 dienen der Eintragung der Leistungsmengen, und zwar nach Meter (Spalte 34 bis 39) oder nach Stück (Spalte 40 bis 42). Welche Einheit anzuwenden ist, ergibt sich aus dem Verzeichnis der Leistungsarten. Die Spalten 43 bis 47 enthalten die Arbeitszeit (in vollen Stunden und Bruchteilen 0,25 / 0,50 / 0,75). Außer den abzulochenden Zahlen enthält der Wochenbericht noch eine Reihe anderer Angaben, die bei den Fernmeldeämtern benötigt werden, aber nicht in die Datenverarbeitung eingehen. Es ist denkbar und bei Umorganisation des Fernmeldebaudienstes vielleicht eines Tages zweckmäßig, statt eines Wochenberichtes einen Tagesbericht zu führen. Am Grundsätzlichen ändert diese Umstellung nichts, nur wird die Papierflut bei der Datenerfassung wesentlich größer. Dieser Nachteil könnte allerdings dadurch ausgeglichen werden, daß die Daten schon am Entstehungsort in eine für Maschinen lesbare Form gebracht werden, so daß das Ablochen von Hand entfällt.

Die Leistungen von Auftragnehmern werden im **„Bericht über Auftragnehmerleistungen im Fernmeldebau“** erfaßt. Das hierfür verwendete Formblatt (Bild 4 b) ist ebenfalls als Lochbeleg gestaltet und in seinem Aufbau dem Wochenbericht angepaßt, jedoch zur leichteren Unterscheidung bei den bearbeitenden Stellen auf grünem Papier gedruckt. Der Inhalt der Spalten innerhalb der abzulochenden Felder entspricht den Spalten im Wochenbericht. In Spalte 10 ist die Zahl 9 eingedruckt, weil das Beobachten der Auftragnehmerleistungen immer unter diese Kennzahl fällt und die Angabe einer Bautruppnummer nicht erforderlich ist. Die Spalten 11 bis 14 und 30 bis 33 des Wochenberichtes haben bei Auftragnehmerleistungen keine Bedeutung. Die Arbeitszeit der Auftragnehmer (Spalte 43 bis 47) ist hier nur nachzuweisen, wenn es sich um Arbeiten handelt, die im Stundenlohn ausgeführt werden. Bei allen Arbeiten, für die Leistungspreise vereinbart wurden, interessiert die Deutsche Bundespost nicht die tatsächlich vom Auftragnehmer aufgewendete Arbeitszeit, sondern die „ersparte Eigenleistung“, d. h., die Zeit, die die Deutsche Bundespost hätte aufwenden müssen, wenn die Arbeit von eigenen Kräften ausgeführt worden wäre. Diese kann aus der Leistungsmenge mit Hilfe der bei eigenen Kräften anzusetzenden Zeiten je Leistungseinheit errechnet werden.

Die Daten aus den Arbeitsplänen (Soll) und aus den Nachweisen der durchgeführten Leistungen (Ist) der einzelnen Ämter wurden schon seit über zehn Jahren zentral abgelocht und maschinell ausgewertet. Die in den Wochenberichten erfaßten Leistungen der Fernmeldebautrupps wurden von den Fernmeldeämtern laufend in die „Zusammenstellung der Leistungen des Fernmeldebautrupps“ übertragen, von wo sie dann am Jahresschluß nach Aufrechnung in den Nachweis der durchgeführten Leistungen für das ganze Fernmeldeamt übergingen. Seit Beginn des Rechnungsjahres 1965 werden jedoch die Daten aus den Wochenberichten und aus den Berichten über Auftragnehmerleistungen abgelocht und auf Magnetbändern gespeichert. Diese Arbeiten werden bei den 7 Rechenzentren Berlin, Frankfurt, Hamburg, Hannover, Köln, München und Stuttgart durchgeführt. Das Fernmeldeamt sendet die Wochenberichte und Berichte über Auftragnehmerleistungen nach Prüfung auf formale Fehler wöchentlich an das zuständige Rechenzentrum. Es fallen wöchentlich rund 2000 Wochenberichte (ohne Auftragnehmerberichte) an. Jede Zeile des Wochenberichtes entspricht einer Lochkarte. Insgesamt werden daher im Jahr rund 4 Millionen Lochkarten verarbeitet, wovon etwa ein Zehntel auf die Auftragnehmerberichte entfällt. Diese werden einer Reihe von Prüfungen unterzogen, um formelle Fehler und logische Unmöglichkeiten zu erkennen. Das Ergebnis der Prüfungen wird in einer **Fehlerliste** ausgeschrieben, die aus zwei Teilen besteht: **Fehlerprotokoll** und **Erfassungsprotokoll.** Im Fehlerprotokoll wird der Inhalt jeder Lochkarte wiedergegeben, bei der eine Prüfbedingung nicht erfüllt ist. Dabei unterscheidet man zwei Fehlerarten, nämlich

a) Fehler, bei denen der Inhalt der Lochkarte nicht weiterverarbeitet, d. h. auf das Erfassungs-Magnetband übernommen wird,
b) Fehler, bei denen der Inhalt der Lochkarte bestimmten Berichtigungen unterworfen, dann aber weiterverarbeitet wird.

Fehler der ersten Gruppe müssen vom Fernmeldeamt durch Aufnahme der berichtigten Daten in den nächsten Wochenbericht richtiggestellt werden. Bei den Fehlern der zweiten Gruppe kann das Fernmeldeamt an Hand der Fehlerliste die Richtigkeit der vom Rechenzentrum selbst durchgeführten Berichtigungen nachprüfen. Das Erfassungsprotokoll enthält für jeden Bautrupp die Anzahl der Zeilen aus den Wochenberichten und die Anzahl der Stunden, die für die weitere Datenverarbeitung auf einem Magnetband erfaßt wurden.

Die verschiedenen Magnetbänder mit den wöchentlich erfaßten Daten werden alle vier Wochen dem Rechenzentrum Hannover übersandt und hier zu einem neuen Summenband vereinigt. Für jede Organisationseinheit (Amt, Baubezirk, Bautrupp), für jedes einzeln erfaßte Bauvorhaben sowie für jedes Ortsnetz (Anschlußbereich) werden die bis dahin aufgelaufenen Summen der nachgewiesenen Leistungen, getrennt nach Leistungsarten, mit den entsprechenden Leistungsmengen und Arbeitszeiten gebildet. Das so auf Magnetbändern gespeicherte Datengut kann vielseitig ausgewertet und den Fernmeldeämtern zeitnahe in Listenform zur Verfügung gestellt werden. Es werden folgende Listen erstellt:

a) **Leistungen der Bautrupps** (Liste 1/BTr-Liste)

In der BTr-Liste erscheinen die Leistungen der einzelnen Bautrupps nach Leistungskennummern geordnet. Zu jeder Leistungskennnummer gehören zwei Zeilen, von denen die erste die angefallenen Stunden, die zweite die Menge angibt. Die Leistungen aller zu einem Fernmeldebaubezirk gehörenden Bautrupps stehen nebeneinander. Die Quersummen ergeben je Zeile die entsprechenden Leistungen des ganzen Fernmeldebaubezirkes. Die Spaltensummen stellen die Gesamtstundenzahl der Bautrupps bzw. des Baubezirkes dar. Die

Listen werden vierwöchentlich geschrieben und bringen jeweils die seit Jahresanfang aufgelaufenen Summen für die geleisteten Stunden und Mengen.

b) **Leistungen der Auftragnehmer** (Liste 2/Auftragnehmerliste)

Die Auftragnehmerliste enthält die je Baubezirk bei den einzelnen Leistungskennummern aufgekommenen Auftragnehmerleistungen. Die Liste wird vierwöchentlich erstellt und bringt in der ersten Fassung jeweils die aufgelaufenen Mengen- bzw. Stundensummen (bei Stundenlohnarbeiten). Nach Ablauf der 24., der 40. und der 53. Woche werden die Listen in einer zweiten Fassung ausgeschrieben, bei der zusätzlich die von den Auftragnehmern ausgeführten Mengen in Arbeitszeit umgerechnet werden. Man erhält so dreimal im Jahr die Summen der durch Auftragnehmereinsatz ersetzten Arbeitszeit eigener Kräfte je Baubezirk und Fernmeldeamt.

c) **Leistungen des Fernmeldeamtes** (Liste 3/FA-Liste)

Diese Liste enthält alle Eigen- und Auftragnehmerleistungen des Fernmeldeamtes, geordnet nach Leistungskennummern mit Stunden und Mengen. Je Leistungskennummer erscheinen die Eigenleistung (E), die Auftragnehmerleistung (A) und die Summe (S). Sowohl bei der Stunden- als auch bei der Mengenangabe wird das Soll (aus dem Arbeitsplan) und das Ist (aus dem Wochenbericht) gegenübergestellt. Die vierwöchentlich ausgedruckte erste Fassung bringt außer den eingesetzten Soll-Zahlen die jeweils aufgelaufenen Ist-Summen der einzelnen Leistungsarten und die Zwischensummen der den Verbuchungsstellen entsprechenden Leistungskennummer-Gruppen sowie die Gesamtsummen für Betriebsarbeiten, Anlagearbeiten und Arbeitszeiten der Leistungskennummer-Gruppe 0000.. Die nach der 24., der 40. und der 53. Woche erstellte zweite Fassung der FA-Liste enthält zusätzlich Angaben über die von eigenen Kräften je Leistungseinheit aufgewendete Arbeitszeit, über das Verhältnis dieser Arbeitszeit zum Bundesdurchschnitt, über die (als ersparte eigene Arbeitszeit umgerechnete) Auftragnehmerleistung und über das Verhältnis zwischen dem im Arbeitsplan veranschlagten Soll und dem bis zum Datum der Liste aufgelaufenen Ist nach Leistungseinheiten und Arbeitszeit. Diese Liste wird dem Wunsch mancher Fernmeldeämter entsprechend künftig möglicherweise auch häufiger erstellt.

d) **Leistungen für andere Fernmeldeämter** (Liste 4/Ausgleichsliste)

Die Ausgleichsliste wird ebenfalls vierwöchentlich erstellt und faßt die in den vergangenen vier Wochen entstandenen Leistungen für andere Fernmeldeämter zusammen. Für jedes Fernmeldeamt, das Leistungen empfangen hat, werden besondere Blätter geschrieben, weil die Verständigung über den Ausgleich der Leistungen zwischen den Fernmeldeämtern mit Hilfe dieser Listen geschieht. Die Liste enthält in senkrechten Spalten die Ortsnetz-Kennzahl des Arbeitsorts, die Leistungskennummer, den Hinweis auf ein Besonderes Titelbuch, die Verwendungsnummer, die Angaben über Meter und

Stück der Leistung sowie die für das andere Amt geleisteten Stunden.

Dadurch, daß das empfangende Amt die ihm durch die Liste mitgeteilten Leistungen in ein Wochenberichts-Formblatt einträgt und dieses dem zuständigen Rechenzentrum übersendet, gehen die entsprechenden Daten in die FA-Liste des empfangenden Amtes ein.

e) **Leistungen für Bauvorhaben** (Liste 5/Bvh-Liste)

In dieser vierwöchentlich erstellten Liste erscheinen die für größere Bauvorhaben geleisteten Stunden eigener Kräfte mit aufgelaufenen Summen unter Angabe der Leistungskennummer, geordnet nach Bauvorhaben. Falls bei einem Bauvorhaben Stunden unter mehreren Leistungskennummern stehen, wird für dieses Bauvorhaben eine Zwischensumme gebildet.

f) **Leistungen je Ortsnetz** (Liste 6/ON-Liste)

Die Ortsnetzliste, die nur einmal am Schluß des Rechnungsjahres gedruckt wird, enthält für jedes Ortsnetz (ggf. unterteilt nach Anschlußbereichen) die je Leistungskennummer-Gruppe bei Betrieb und Anlage aufgewendeten Arbeitsstunden. Die Stunden eigener Kräfte und die umgerechneten Auftragnehmerleistungen werden getrennt angegeben. Die Betriebsarbeiten und die Anlagearbeiten je Ortsnetz werden summiert und ferner die FA-Summen je Leistungskennummer-Gruppe gebildet. Daraus ergibt sich die gesamte Stundenleistung des Fernmeldeamtes.

Um den Führungskräften den Überblick über das Geschehen in der Linientechnik zu erleichtern, wird die FA-Liste künftig zu bestimmten Zeiten stark verdichtet und mit Klartext herausgegeben. Im übrigen erhalten die Dienststellen der Fernmeldeämter durch die Listen laufend einen Überblick über den Ablauf der Arbeiten der eigenen Kräfte und der Auftragnehmer im Vergleich zum Arbeitsplan, ohne daß sie selbst besondere Aufzeichnungen führen müssen, wie es vor der maschinellen Bearbeitung der Wochenberichtsdaten notwendig war. Bei auffälligen Abweichungen von der Arbeitsplanung können sie sogleich arbeitsorganisatorische Folgerungen ziehen. Die Bauvorhaben-Liste vereinfacht das Führen der Aufwandsnachweise für die Bauvorhaben bei der Haushaltsstelle. Die Ausgleichs-Liste ermöglicht auf sehr einfache Weise den Ausgleich der für andere Fernmeldeämter erbrachten Leistungen zwischen den Ämtern.

3. Zentrale Auswertungen

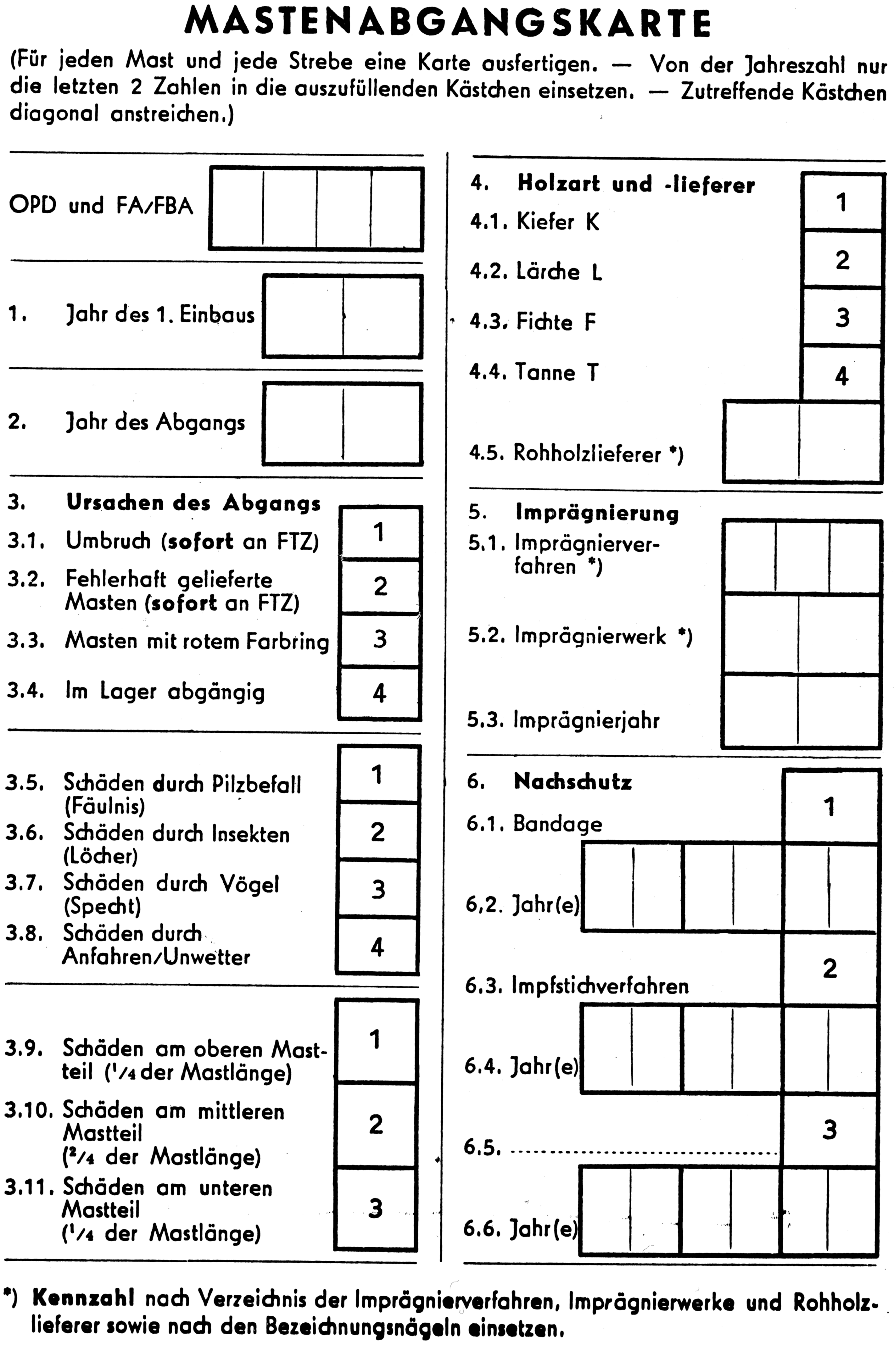
Die beim Rechenzentrum Hannover gespeicherten Daten über die Jahresleistungen aller Fernmeldeämter bilden die Grundlage für die vom FTZ/PTZ nach Abschluß des Jahres durchzuführenden zentralen Auswertungen, zu denen Daten aus anderen Quellen (Mittelverbrauch, Kfz-Einsatz) mit heranzuziehen sind. Das früher notwendige manuelle Zusammenstellen der durchgeführten Leistungen im „Nachweis der Jahresleistungen im Fernmeldebau“ durch die Fernmeldeämter erübrigt sich, seit die Daten aus den Wochenberichten abgelocht und maschinell weiterverarbeitet werden. Auch die zentrale Auswertung selbst kann dadurch wesentlich vereinfacht und beschleunigt werden. Dementsprechend ergibt sich eine Verringerung des Personalaufwandes bei den Fernmeldeämtern und beim FTZ/PTZ. Um das Datengut in geeigneter Form für weitere Spezialauswertungen zur Verfügung zu haben, wird die zentrale Auswertung in der EDV-Anlage des FTZ durchgeführt. Dabei sind zahlreiche Verhältnis- und Bezugszahlen zu bilden. Wichtig sind auch Auswertungen über mehrere Jahre hinweg (Trendberechnung). Mit dem so erarbeiteten Datenmaterial erhält das Ministerium Unterlagen für wichtige Entscheidungen, z. B. über den erforderlichen Umfang des Auftragnehmeranteils im Fernmeldebau.

Im Zusammenhang mit der Aufstellung des Arbeitsplanes wird der erforderliche Arbeitsaufwand an eigenen Kräften und Auftragnehmern für den Bereich eines Fernmeldeamtes mit Hilfe von drei Werten, nämlich dem Strukturfaktor (Stunden/km), dem Bestandsfaktor (Stunden/vorhandene Sprechstellen) und dem Zuwachsfaktor (Stunden/hergestellte Sprechstellen) global berechnet. Der Strukturfaktor wird dazu mit der Quadratwurzel der Fläche des FA-Gebietes, der Bestandsfaktor mit der Zahl der vorhandenen Haupt- und Nebenanschlüsse und der Zuwachsfaktor mit der Zahl der hergestellten Haupt- und Nebenanschlüsse multipliziert. Diese drei Faktoren werden jährlich beim FTZ auf Grund des tatsächlichen Arbeitsaufwandes der Fernmeldeämter im vorhergehenden Jahr durch lineare Dreifachregression zu den genannten Einflußgrößen auf einer Datenverarbeitungsanlage ermittelt. Nachdem das Programm für die Regressionsrechnung vorliegt, kann die Berechnung ohne großen Zeitaufwand nicht nur auf Amtsbereichsebene, sondern auch für die Bereiche der Knotenvermittlungsstellen durchgeführt werden. Diese und ähnliche Analysen, z. B. mit Variation der Bezugseinheiten, sind mit dem vorhandenen Datengut für zentrale Entscheidungen in Organisations- und Bemessungsfragen jederzeit möglich.

IV. Mastenstatistik

1. Mastenabgangsstatistik

Die Statistik über die Mastenabgänge in den oberirdischen Fernmeldelinien der Deutschen Bundespost, die Aufschluß geben soll über die Gebrauchsdauer der Maste, die Ursachen der Abgänge, die Wirtschaftlichkeit der Tränkverfahren und die Zuverlässigkeit der Tränkwerke, wurde in früheren Jahren mit Hilfe der konventionellen Lochkartentechnik erstellt. Die Auswertungsmöglichkeiten befriedigten nicht. Da der Leitungsmast aus Holz aber nach wie vor eine große Bedeutung für die Linientechnik hat [11], ist es notwendig, neue Wege zu gehen. Die Übernahme der Mastenabgangsstatistik in die elektronische Datenverarbeitung soll bessere Auswertungsmöglichkeiten erschließen. Die **Mastenabgangskarte**, mit der die Ursprungsdaten bei den Baudienststellen erfaßt werden und die als Lochbeleg dient, wurde im Jahre 1963 umgestaltet. Bild 5 zeigt sie in der seit Beginn des Jahres 1964 eingeführten Form. In die abzulochenden Felder sind entweder bestimmte Zahlen einzutragen (z. B. Jahreszahlen) oder es sind vorgedruckte Ziffern anzustreichen. Jeder Mastenabgang wird durch die vierstellige Ordnungszahl des Amtes eindeutig einem FA-Bezirk zugeordnet. Das Jahr des Einbaus und des Abgangs sind mit den beiden letzten Ziffern der Jahreszahl zu vermerken. Die Ursachen des Abgangs werden durch Anstreichen vorgedruckter Schlüsselzahlen angegeben. Bei der Art der Schäden (3.5. bis 3.8. in Bild 5) und bei den Schadenstellen (3.9. bis 3.11. in Bild 5) können mehrere Schlüsselzahlen angestrichen werden (z. B. Schäden durch Pilzbefall und durch Insekten). Für diesen Fall regelt die Loch- und Prüfanweisung, was bei den verschiedenen möglichen Kombinationen in der entsprechenden Spalte der Lochkarte gelocht werden soll. Für den Rohholzlieferer



MASTENABGANGSKARTE

(Für jeden Mast und jede Strebe eine Karte ausfertigen. — Von der Jahreszahl nur die letzten 2 Zahlen in die auszufüllenden Kästchen einsetzen. — Zutreffende Kästchen diagonal anstreichen.)

OPD und FA/FBA

1. Jahr des 1. Einbaus

2. Jahr des Abgangs

3. **Ursachen des Abgangs**
3.1. Umbruch (**sofort** an FTZ) 1
3.2. Fehlerhaft gelieferte Masten (**sofort** an FTZ) 2
3.3. Masten mit rotem Farbring 3
3.4. Im Lager abgängig 4

3.5. Schäden durch Pilzbefall (Fäulnis) 1
3.6. Schäden durch Insekten (Löcher) 2
3.7. Schäden durch Vögel (Specht) 3
3.8. Schäden durch Anfahren/Unwetter 4

3.9. Schäden am oberen Mastteil (¹/₄ der Mastlänge) 1
3.10. Schäden am mittleren Mastteil (²/₄ der Mastlänge) 2
3.11. Schäden am unteren Mastteil (¹/₄ der Mastlänge) 3

4. **Holzart und -lieferer**
4.1. Kiefer K 1
4.2. Lärche L 2
4.3. Fichte F 3
4.4. Tanne T 4
4.5. Rohholzlieferer *)

5. **Imprägnierung**
5.1. Imprägnierverfahren *)
5.2. Imprägnierwerk *)
5.3. Imprägnierjahr

6. **Nachschutz**
6.1. Bandage 1
6.2. Jahr(e)
6.3. Impfstichverfahren 2
6.4. Jahr(e)
6.5. 3
6.6. Jahr(e)

*) **Kennzahl** nach Verzeichnis der Imprägnierverfahren, Imprägnierwerke und Rohholzlieferer sowie nach den Bezeichnungsnägeln einsetzen.

Bild 5. Mastenabgangskarte

Tabelle 1

Beschreibung der Fehlerarten und ihre Kennung

Kennung	Belegpunkt	Bezeichnung	Art des Fehlers	Besonderes
1		Ordnungsnummer des Amtes	nicht oder falsch oder unvollständig angegeben	keine weitere Prüfung auf andere Fehler
2	1. 5.3	Jahr des 1. Einbaus Imprägnierjahr	nicht angegeben und nicht angegeben	
3	1.	Jahr des 1. Einbaus	kleiner als 5.3.	
4	3.9.—3.11.	Schadenslage am Mast	nicht angegeben	
5	3.5.—3.8. 3.1.—3.4.	Schadensart Ursachen des Abgangs	nicht angegeben und nicht Kennung „3“	
6	4.1.—4.4.	Holzart	nicht angegeben	
7	4.5. 5.3. 5.2.	Rohholzlieferer Imprägnierjahr Imprägnierwerk	nicht angegeben und 61 und größer und 30 oder 31	
8	4.5. 5.3. 5.2.	Rohholzlieferer Imprägnierjahr Imprägnierwerk	angegeben und 61 und größer und nicht 30 oder 31	
9	4.5. 5.1. 5.2. 5.3.	Rohholzlieferer Imprägnierjahr Imprägnierwerk Imprägnierverfahren	angegeben und 61 und größer und 30 oder 31 und nicht 001, 100, 210, 220 222, 230, 233	
10	5. 1.	Imprägnierverfahren	nicht angegeben oder keins der möglichen	
11	5.3. 5.2.	Imprägnierjahr Imprägnierwerk	61 und größer und nicht angegeben	
12	6.1. 6.2. 6.3.	Nachschutzjahr Nachschutzjahr Nachschutzjahr	zwei oder mehr gleiche Jahreszahlen, andere Unregelmäßigkeiten	
13	4.5.	Rohholzlieferer	alphabetische Kennzeichnung	
14	5.2.	Imprägnierwerk	alphabetische Kennzeichnung	

(4.5. in Bild 5), das Tränkverfahren (5.1. in Bild 5) und das Tränkwerk (5.2. in Bild 5) sind die notwendigen Schlüsselzahlen aus dem Verzeichnis der Tränkverfahren, Tränkwerke und Rohholzlieferer bzw. unmittelbar aus den Bezeichnungsnägeln am Mast zu entnehmen.

Da die Statistik nur dann einen echten Aussagewert hat, wenn die verarbeiteten Daten fehlerfrei und für die erfaßten Fälle vollständig sind, versucht man durch maschinelle Prüfung, falsch oder unvollständig ausgefüllte Mastenabgangskarten vor der Weiterver-

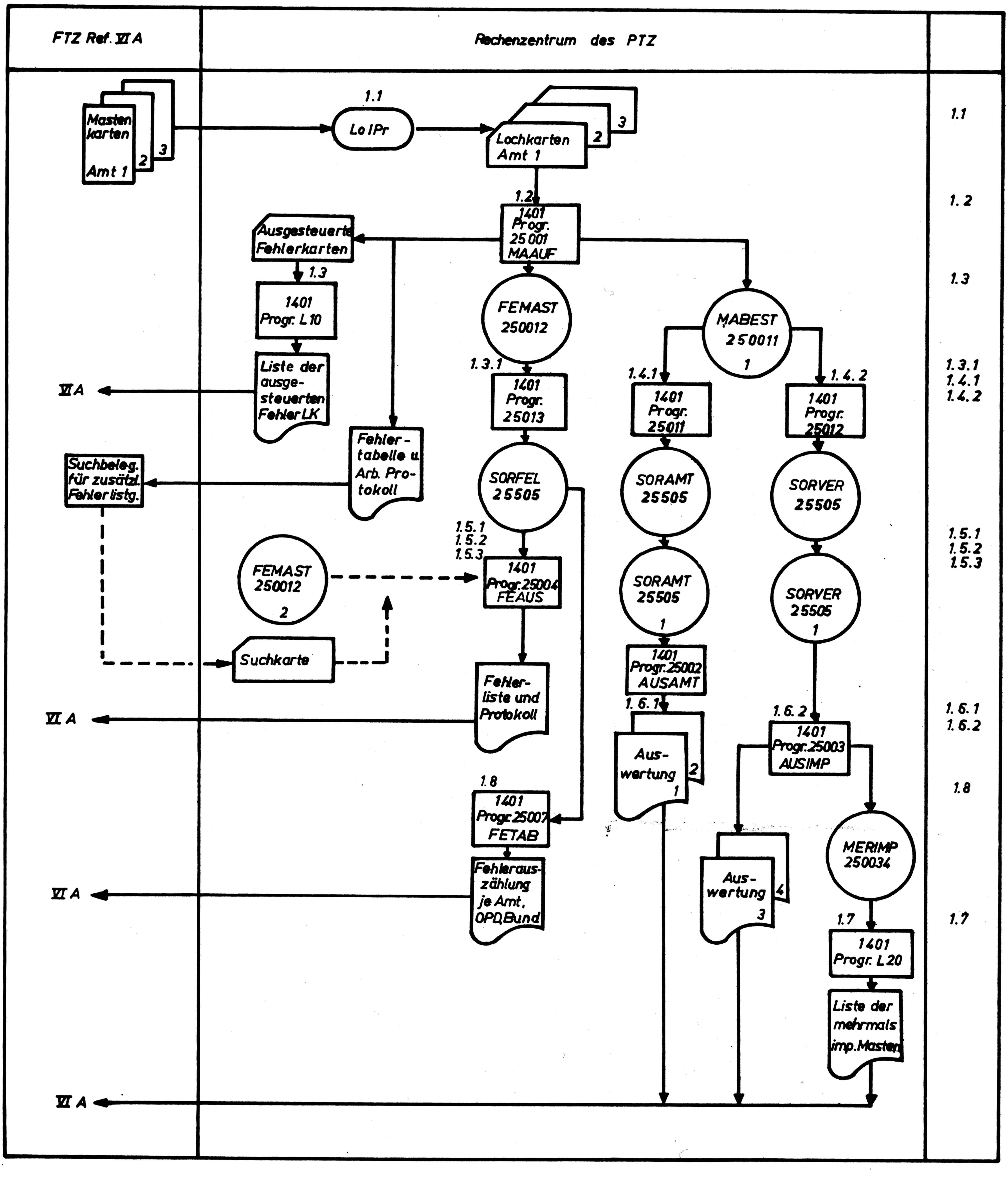

FTZ Ref. VI A
Rechenzentrum des PTZ
Masten karten Amt 1
2
3
1.1
Lo/Pr
Lochkarten Amt 1
2
3
1.2
1401 Progr. 25001 MAAUF
Ausgesteuerte Fehlerkarten
1.3
1401 Progr. L 10
Liste der ausgesteuerten Fehler LK
VI A
FEMAST 250012
MABEST 250011 1
1.3.1
1401 Progr. 25013
1.4.1
1401 Progr. 25011
1.4.2
1401 Progr. 25012
Fehler-tabelle u. Arb. Protokoll
Suchbeleg. für zusätzl. Fehler listg.
SORFEL 25505
SORAMT 25505
SORVER 25505
1.5.1
1.5.2
1.5.3
FEMAST 250012 2
1401 Progr. 25004 FEAUS
SORAMT 25505 1
SORVER 25505 1
Suchkarte
1401 Progr. 25002 AUSAMT
Fehler-liste und Protokoll
VI A
1.6.1
Aus-wertung 1
2
1.6.2
1401 Progr. 25003 AUSIMP
1.8
1401 Progr. 25007 FETAB
MERIMP 250034
Aus-wertung 3
4
Fehlerauszählung je Amt, OPD, Bund
VI A
1.7
1401 Progr. L 20
Liste der mehrmals imp. Masten
VI A
1.1
1.2
1.3
1.3.1
1.4.1
1.4.2
1.5.1
1.5.2
1.5.3
1.6.1
1.6.2
1.8
1.7

Bild 6. Arbeitsflußdiagramm für Mastenabgangsstatistik
(Die im Bild enthaltenen Abkürzungen und Zahlen sind Bezeichnungen für die verwendeten Unterprogramme)

arbeitung auszusondern. Die Karten werden auf die in Tabelle 1 enthaltenen Fehlerarten geprüft. Die fehlerhaften Karten werden mit den in Frage kommenden Fehlernummern 1 bis 14 versehen und ausgesteuert. Ausgesteuert werden auch alle Karten mit einem vom Berichtsjahr abweichenden Abgangsjahr. Der Inhalt der ausgesteuerten Karten wird auf ein Fehlerband genommen, während die Daten der übrigen Karten in das Bestandsband eingehen, so daß nach Abschluß der Kartenerfassung die Inhalte der richtig und der falsch ausgefertigten Mastenabgangskarten auf getrennten Bändern vorliegen. Die Zahl der fehlerhaften Karten wird zum Gesamtaufkommen je Amt ins Verhältnis gesetzt. Dabei zeigte sich, daß von den im Jahre 1965 eingesandten Mastenabgangskarten insgesamt etwa 24 v. H. ausgesondert werden mußten. Dieser Anteil ist bei den einzelnen Ämtern sehr unterschiedlich. Er kann bei einer Vorprüfung durch eine sachkundige Kraft, wie die Erfahrung gezeigt hat, auf etwa 6 v. H. herabgedrückt werden. Eine solche Vorprüfung liegt auf die Dauer gesehen nicht im Sinne einer maschinellen Auswertung, kann aber bei Einführung eines neuen Auswerteverfahrens zur Ausmerzung der anfänglich von den die Lochbelege ausfertigenden Kräften gemachten Fehler nützlich sein. Natürlich können sachliche Fehler, z. B. Angabe bei der Holzart, weder durch eine manuelle Vorprüfung noch durch eine maschinelle Prüfung ausgeschlossen werden.

Der Gesamtablauf des Sortier- und Rechenprogramms für die Mastenabgangsstatistik ist in dem in Bild 6 wiedergegebenen Arbeitsflußdiagramm dargestellt. Danach ergibt sich folgender Arbeitsablauf:

1.1. Lochen und Prüfen der ämterweise geordnet angelieferten Mastenabgangskarten nach der Loch- und Prüfanweisung — Mastenabgangsstatistik —,
1.2. Erfassen der ämterweise geordneten Lochkarten,
1.3. Listen der in Arbeitsstufe 1.2. ausgesteuerten Fehlerkarten,
1.3.1. Sortieren des in Arbeitsstufe 1.2. gewonnenen Fehlerbandes nach Fernmeldeämtern,
1.4.1. Sortieren des in Arbeitsstufe 1.2. gewonnenen Bestandsbandes nach Fernmeldeämtern, in der folgenden Stufe
1.4.2. desgleichen nach Imprägnierverfahren und Alter,
1.5. Auswerten und Tabellieren des in Arbeitsstufe 1.3.1. gewonnenen Fehlerbandes (nur auf besondere Anweisung des FTZ Ref. VI A),
1.5.1.a) ohne Umschalter B als Grundtabellierung,
1.5.2.b) mit Umschalter B ämterweise entsprechend der Vorlaufkarte,
1.5.3.c) mit Umschalter C ämterweise Grundtabellierung,
1.6.1. Auswertung 1 und 2,
1.6.2. Auswertung 3 und 4,
1.7. Listung des in Arbeitsstufe 1.6.2. gewonnenen Bandes mit mehrmals nachgeschützten Masten,
1.8. Auswerten der Fehlerzahlen je Amt, OPD und Bund
1.8.1. nach jeder Kartenerfassung,
1.8.2. am Jahresende mit allen Fehlerbändern.

Im Zuge der Auswertung 1 werden Zahl und Alter der abgegangenen Maste auf Amts-, OPD- und Bundesebene je Schadensart und insgesamt summiert sowie das Durchschnittsalter je Mast errechnet. Die Ergebnisse werden ausgedruckt. Gleichzeitig wird eine Tabelle der Stückzahlen und Gesamtalter je Holz- und Schadensart erstellt, wobei ebenfalls die Durchschnittsalter errechnet werden (Auswertung 2).

Das Programm der Auswertung 3 rechnet die Stückzahl und das Alter der abgegangenen Maste nach den Imprägnierverfahren unterschieden und innerhalb der Imprägnierverfahren nach dem Alter geordnet hoch und druckt die Grundwerte aus. Dabei wird für jedes Imprägnierverfahren insgesamt auch das Durchschnittsalter je Mast errechnet. Die Auswertung 4 bezieht sich auf Maste, die nachgeschützt waren.

Im Jahre 1965 konnten rund 70 000 Mastenausfälle ausgewertet werden. Als Ausfallsursache wurde angegeben: Fäulnisbefall 89,5 v. H., Insektenbefall 5,5 v. H., mechanische Beschädigung 2,8 v. H. und sonstige Ursachen 2,2 v. H. Als durchschnittliche Gebrauchsdauer der im Jahre 1965 abgängigen Maste wurde für teerölgetränkte Maste 32,6 Jahre, salzgetränkte Maste 15,4 und Maste insgesamt 20,6 Jahre errechnet. Zwischen den OPD-Bezirken schwankt die durchschnittliche Gebrauchsdauer sehr stark.

Um den Anteil der falsch oder unvollständig ausgefüllten Mastenabgangskarten an der Gesamtzahl der vorgelegten Karten herabzusetzen, werden die Erfassungsfehler nach den einzelnen Punkten der Mastenabgangskarte aufgeschlüsselt und das Ergebnis auf Ämter-, OPD- und Bundesebene ausgedruckt. Man erhält dadurch die Möglichkeit, durch gezielte Belehrungen zu einer Verbesserung der Angaben in den Lochbelegen zu kommen. Es ist auch jederzeit möglich, auf Anforderung für bestimmte Ämter den Gesamtinhalt der fehlerhaften Karten mit Angabe der Fehlernummer zu tabellieren. Alle Fehler werden monatlich auf Fehlerband erfaßt und ausgewertet, während die Daten der übrigen Karten monatlich auf ein Bestandsband genommen werden, das bis zur Auswertung am Jahresschluß liegen bleibt.

2. Mastennachschutz

In den Linien stehende Holzmaste werden unter bestimmten Voraussetzungen in der Erd-Luft-Zone „nachgeschützt“, um ihre Standsicherheit zu erhalten und ihre voraussichtliche Lebensdauer zu verlängern. Bei dieser Gelegenheit wurden von den mit der Durchführung der Nachschutzarbeiten beauftragten Firmen mehrere Jahre lang Leistungsberichte erstellt, in die für jeden untersuchten Mast bestimmte Befunddaten eingetragen wurden. Die Auswertung dieser Daten kann neben der Mastenabgangsstatistik wertvolle Erkenntnisse über das Verhalten der in den Linien stehenden Maste vermitteln.

Nach einer Probeauswertung für das Jahr 1962 wurden die Leistungsberichte des Mastennachschutzes aus den Jahren 1961, 1963, 1964 und 1965 stichprobenweise ausgewertet. Von etwa 570 000 untersuchten Masten wurden rund 117 000, also etwa 20 v. H., die sich anteilmäßig im gleichen Verhältnis auf die beteiligten FA-Bezirke verteilen, in der Stichprobe erfaßt. Die Auswertung enthält:

a) die Standjahre der Maste zum Zeitpunkt der Untersuchung;

b) eine Aufschlüsselung nach Tränkverfahren, wobei 24 Tränkverfahren einzeln und alle übrigen in einer Sammelposition erscheinen;

c) die Beurteilung der Maste nach „nachschutzwürdig und nachzuschützen“ (Klasse 1), „nicht mehr nachschutzwürdig und daher auszuwechseln“ (Klasse 2), „zwar nachschutzwürdig, aber aus irgendeinem Grunde nicht nachzuschützen“ (Klasse 0), und zwar je Tränkverfahren und je Standjahr;
d) die durchschnittlichen Standjahre je Tränkverfahren und je Klasse 1, 2 und 0;
e) den Vomhundert-Anteil der Klassen 1, 2 und 0 je Tränkverfahren;
f) eine Aufschlüsselung der als auswechselungsreif bezeichneten Maste (Klasse 2) nach 8 verschiedenen Schadensarten, und zwar geordnet nach der Zahl der Standjahre.

Aus den gewonnenen Daten lassen sich Schlüsse auf die Wirksamkeit bestimmter Tränkverfahren usw. ziehen. Auch für die Entscheidung über Nachschutzmaßnahmen geben sie Hinweise.

3. Mastengrundschutz

Um die Leitungsmaste aus Holz gegen die Einwirkung pflanzlicher und tierischer Holzschädlinge zu schützen und ihre Standsicherheit möglichst lange zu erhalten, werden sie vor ihrer Verwendung mit verschiedenartigen Holzschutzmitteln und nach unterschiedlichen Verfahren getränkt. Den Tränkvorgang läßt die Deutsche Bundespost bei den Tränkanstalten überwachen. Dabei werden über gewisse Daten, die in dem Zusammenhang interessant sind, wie Eindringtiefen u. dgl., Aufzeichnungen geführt. Hierfür werden künftig als Lochbelege oder als Eingabebelege für den Markierungsleser gestaltete Formblätter verwendet werden, so daß die Daten einer kurzfristigen und umfassenden Auswertung mit Hilfe der elektronischen Datenverarbeitung zugeführt werden können, deren Ergebnisse die Entscheidung in Fragen der Holzschutzmittel und Holzschutzverfahren erleichtern können. Ein entsprechendes Programm ist in Vorbereitung.

V. Kostenermittlungen

1. Ermittlung der Anschaffungskosten für Teile von Ortsnetzanlagen

Im Jahre 1950 sind den Oberpostdirektionen erstmals „Durchschnittssätze der Anschaffungskosten für oberirdische und unterirdische Fernmeldeanlagen“ bekanntgegeben worden. Diese Kostensätze wurden im Jahre 1955 überprüft und berichtigt. Dabei wurden Bundesdurchschnittskosten aus den von den Ämtern gemeldeten Amtsdurchschnittskosten errechnet. Die Bekanntgabe vom März 1956 enthielt auch die Niedrigst- und Höchstwerte, so daß eine gewisse Streuungsbreite erkennbar war. Um zu aussagefähigeren Ergebnissen zu kommen, ließ man sich bei den erneuten Erhebungen für das Jahr 1957 von den Ämtern nicht die Kosten für die Einheit, sondern für die tatsächlich hergestellte Menge (m/Stück) des betreffenden Netzteils melden und bildete gewogene Mittel auf Bundesebene, in denen alle angefallenen Kosten (Material, Auftragnehmerleistungen und eigener Arbeitsaufwand) enthalten waren. Da es sich zeigte, daß die „Anschaffungskosten“ einerseits immer mehr Bedeutung gewannen

a) für die Vorveranschlagung von Bauvorhaben am Fernmeldeleitungsnetz,
b) für Wirtschaftlichkeitsrechnungen bei der Ortsnetzplanung,
c) für die Errechnung von Geldwerten bei der Inventur des Fernmeldeleitungsnetzes,

andererseits aber nur dann sinnvoll verwendbar waren, wenn sie auf zeitnahen Ermittlungen beruhten, werden sie seit 1959 jährlich neu berechnet. Die Ergebnisse des Jahres 1960 wurden erstmals mit Hilfe einer elektronischen Rechenanlage ermittelt. Dadurch war es möglich, sie weiter aufzugliedern und außer den „gewogenen (arithmethischen) Mittelwerten" auch die „gewogenen Streuwerte (Standardabweichungen)" zu berechnen, sowie die Rechenergebnisse durch Ausreißertest von offensichtlichen Erhebungsfehlern zu befreien und mit Hilfe eines statistischen Prüftests auf ihre Vertrauenswürdigkeit zu prüfen.

Die Fernmeldeämter entnehmen die Ursprungsdaten nach vom FTZ herausgegebenen Richtlinien im allgemeinen aus abgeschlossenen Verträgen und tragen sie in Erhebungsbogen ein. Um zu brauchbaren Ergebnissen zu kommen, muß das Zahlenmaterial bei allen Ämtern nach gleichen Gesichtspunkten erfaßt werden. Die von den Ämtern vorgelegten Erhebungsbogen werden beim FTZ formal vorgeprüft, um grobe Unstimmigkeiten zu berichtigen oder die betreffenden Angaben von der weiteren Bearbeitung auszuschließen. Bei der anschließenden Übertragung auf Lochkarten entspricht jeder Zeile im Erhebungsbogen eine Lochkarte, in die außerdem die Ordnungsnummer des Amtes und eine Kennziffer eingelocht wird, die der Art der Kosten zugeordnet ist (Auslegen von Erdkabeln, Einziehen von Röhrenkabeln, Herstellen von Kanalanlagen, Spleiß- und Lötarbeiten usw.). Dies ermöglicht es, die etwa 8000 Lochkarten für die einzelnen Arten von Anschaffungskosten nach verschiedenen Gesichtspunkten maschinell zu sortieren. Es werden zunächst die gewogenen Mittelwerte der Anschaffungskosten je Einheit (DM/m, DM/Stück) für die erfaßten Anlagen und die Streuwerte (Standardabweichungen) um diese Mittelwerte errechnet. Abweichungen vom Mittelwert, die eine bestimmte Größe (vierfacher Streuwert) übersteigen, werden ausgedruckt und als „Ausreißer" ausgesondert. Darauf wird die Mittelwerts- und Streuungsberechnung ohne die Ausreißer wiederholt. U. U. müssen noch einmal Ausreißer ausgesondert und die Mittelwerts- und Streuungsberechnung noch einmal durchgeführt werden [2].

Ein wesentlicher Zweck des gewonnenen Zahlenmaterials ist es, die Konstanten a und b der Kostengleichung, mit deren Hilfe in einfacher Weise überschlägliche Kostenberechnungen durchgeführt werden können, zu gewinnen. Zwischen den Gesamtkosten K einer Anlage sowie den Grundkosten a und den Einheitenkosten b besteht die Beziehung

$$K = a + b \, . \, n \, .$$

Der Grundkostenanteil a der Gesamtkosten ist unabhängig von der Anzahl der eingebauten Einheiten, während der Einheitenkostenanteil

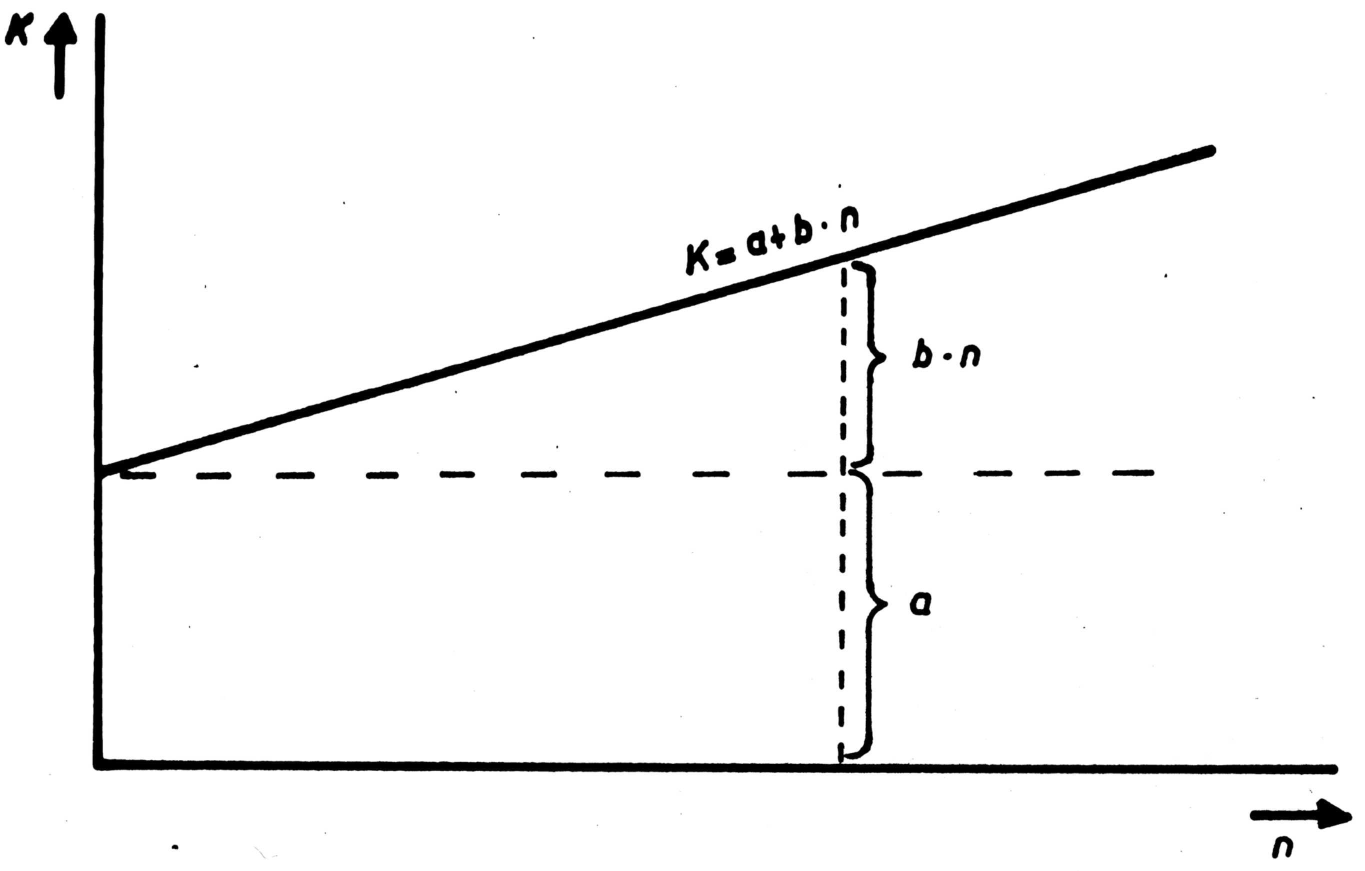


Bild 7. Gesamtkosten einer Anlage in Abhängigkeit von der Zahl der Einheiten

b · n proportional mit der Zahl der Einheiten n wächst (Bild 7). Die Konstanten a und b für bestimmte Anlagen lassen sich durch lineare Regression aus den Daten von sinnvoll gruppenweise zusammengefaßten Anschaffungskosten für Teile dieser Anlagen errechnen. Dabei sind außer den Auftragnehmerkosten auch alle Bauzeugkosten zu berücksichtigen. Die gleichfalls errechneten Korrelationskoeffizienten geben ein Maß für die Übereinstimmung der Regressionsgeraden und der tatsächlichen Einzelwerte. Aus dem in Bild 8 dargestellten Arbeitsflußdiagramm ist der Gang der erforderlichen Rechenoperationen zu erkennen. Das Ergebnis der Berechnungen wird den OPDn und FÄ jährlich bekanntgegeben. Eine Zusammenstellung zeigt die Auftragnehmerkosten für das Herstellen von Teilen von Ortsnetzanlagen derart, daß aus vier verschiedenen Spalten zu entnehmen sind:

a) die Zahl der gemeldeten Fälle,
b) die Zahl der nach dem Ausreißertest übriggebliebenen und bei der weiteren Berechnung berücksichtigten Fälle,
c) der gewogene Mittelwert auf Bundesebene in DM/m oder DM/Stück,
d) die relative Streuung der erfaßten Werte um den Mittelwert.

Die zweite Zusammenstellung bezieht sich im besonderen auf die Auftragnehmerkosten bei den am meisten vorkommenden und ins Gewicht fallenden Arbeiten „Verlegen von Erdkabeln“. Diese Kosten werden getrennt ausgewiesen für die beiden Fälle „ausschließlich Wiederherstellen der Wegeoberfläche“ und „einschließlich Wiederherstellen der Wegeoberfläche“. Diese Zusammenstellung enthält die Angaben für alle Ämter und die Bundessumme. Außer der Zahl der Fälle vor und nach dem Ausreißertest, dem gewogenen Mittelwert und der relativen Streuung wird hier für jedes Amt das Verhältnis des gewogenen Mittelwertes zum Bundeswert angegeben.

Das für die Praxis wichtigste Ergebnis der Berechnungen über die Anschaffungskosten für Teile von Ortsnetzanlagen sind die Grund- und Einheitenkosten (Tabelle 2), mit deren Hilfe überschlägliche Kostenberechnungen für verschiedenartige vollständige Anlagen auf einfachste Weise durchgeführt werden können. Für Kabelanlagen werden zweckmäßig bei den Grundkosten Streckenmeter und Kabelmeter unterschieden, um bei gleichzeitiger Verlegung mehrerer Kabel auf einer

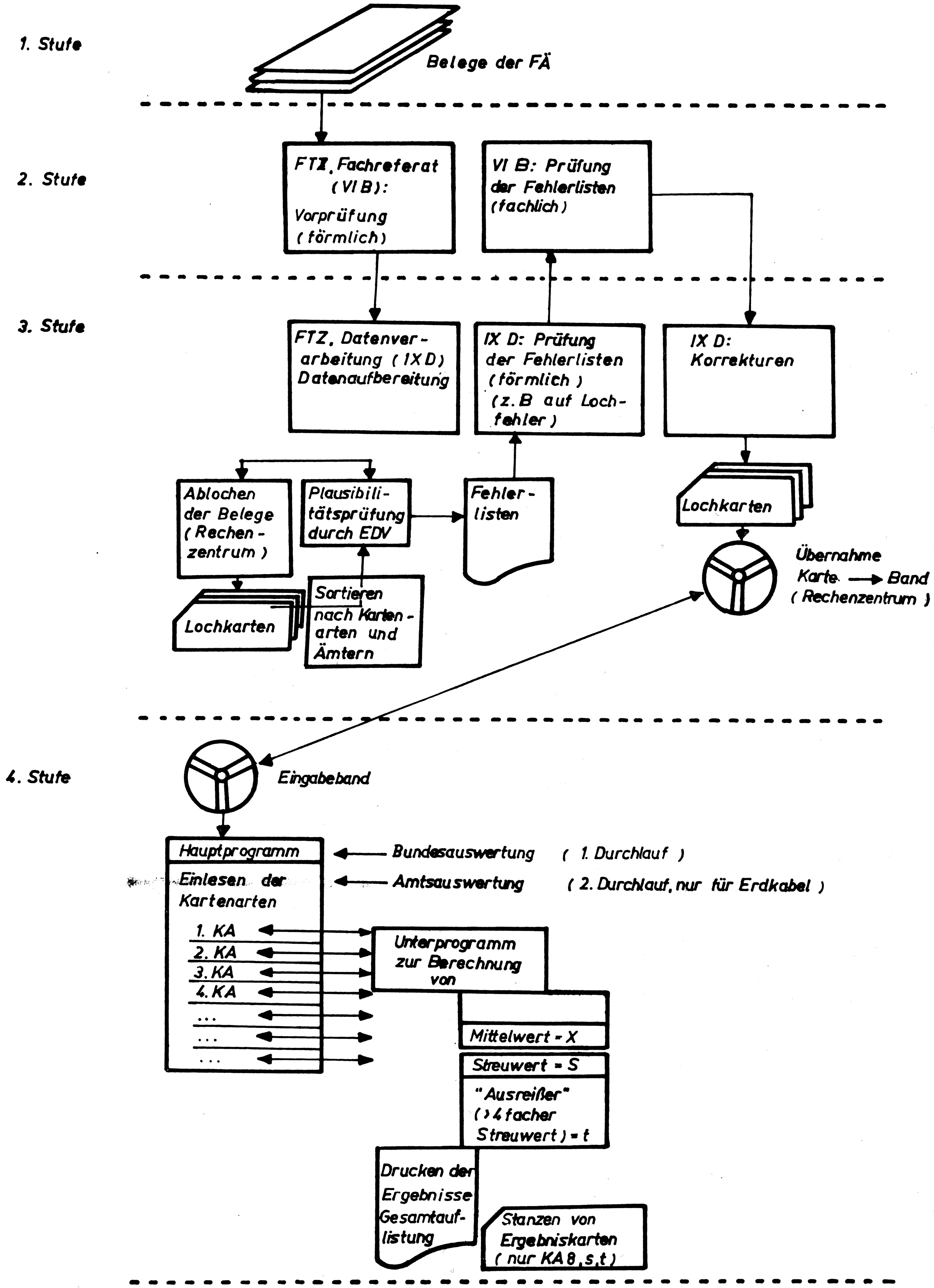

1. Stufe
Belege der FÄ
2. Stufe
FTZ, Fachreferat (VI B): Vorprüfung (förmlich)
VI B: Prüfung der Fehlerlisten (fachlich)
3. Stufe
FTZ, Datenverarbeitung (IX D) Datenaufbereitung
IX D: Prüfung der Fehlerlisten (förmlich) (z.B auf Lochfehler)
IX D: Korrekturen
Ablochen der Belege (Rechenzentrum)
Plausibilitätsprüfung durch EDV
Fehlerlisten
Lochkarten
Übernahme Karte → Band (Rechenzentrum)
Lochkarten
Sortieren nach Kartenarten und Ämtern
4. Stufe
Eingabeband
Hauptprogramm
Bundesauswertung
(1. Durchlauf)
Einlesen der Kartenarten
Amtsauswertung
(2. Durchlauf, nur für Erdkabel)
1. KA
2. KA
3. KA
4. KA
...
...
...
Unterprogramm zur Berechnung von
Mittelwert = X
Streuwert = S
"Ausreißer" (>4facher Streuwert) = t
Drucken der Ergebnisse Gesamtauflistung
Stanzen von Ergebniskarten (nur KA 8, s, t)

Bild 8.

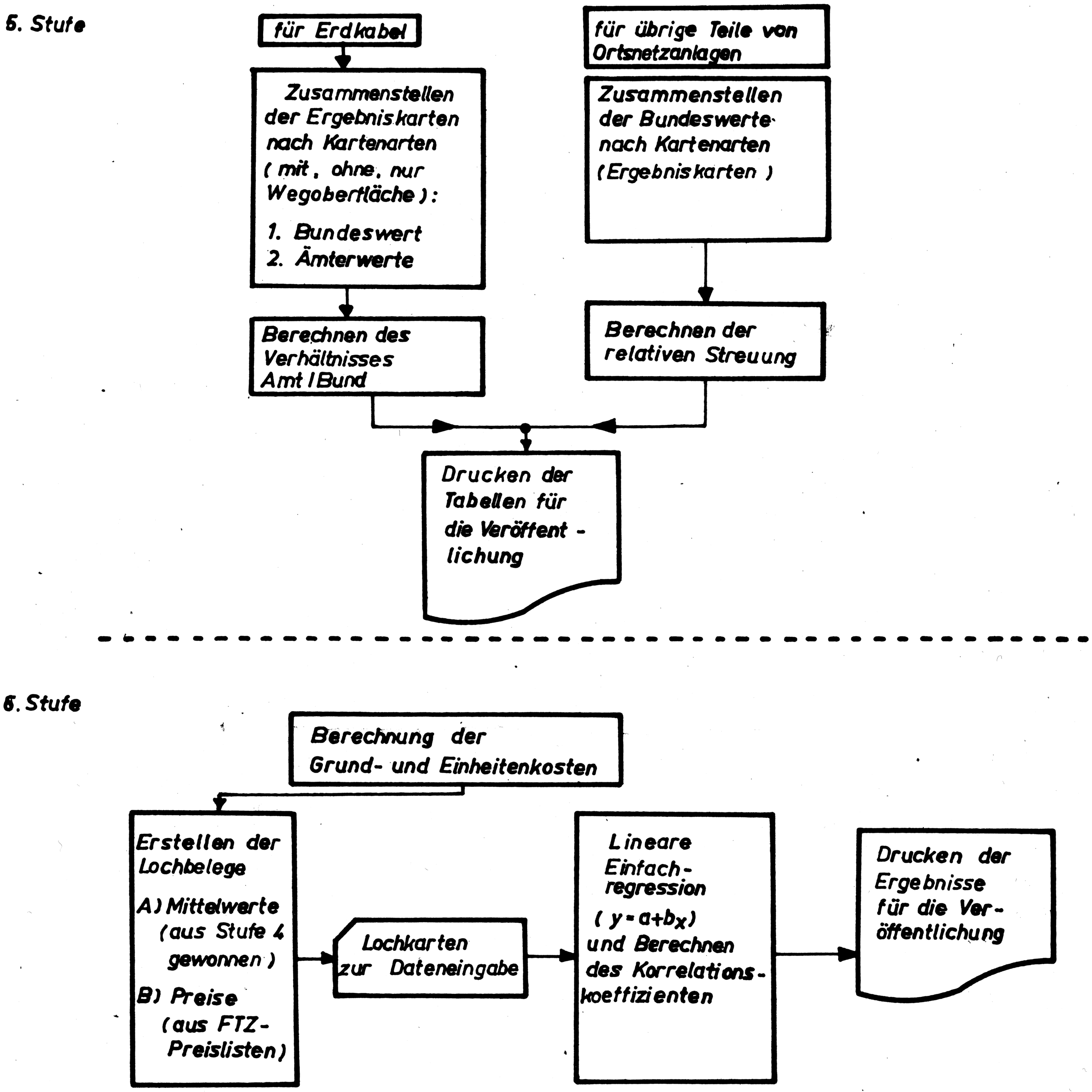

5. Stufe
für Erdkabel
Zusammenstellen der Ergebniskarten nach Kartenarten (mit, ohne, nur Wegoberfläche):
1. Bundeswert
2. Ämterwerte
Berechnen des Verhältnisses Amt/Bund
für übrige Teile von Ortsnetzanlagen
Zusammenstellen der Bundeswerte nach Kartenarten (Ergebniskarten)
Berechnen der relativen Streuung
Drucken der Tabellen für die Veröffentlichung
6. Stufe
Berechnung der Grund- und Einheitenkosten
Erstellen der Lochbelege
A) Mittelwerte (aus Stufe 4 gewonnen)
B) Preise (aus FTZ-Preislisten)
Lochkarten zur Dateneingabe
Lineare Einfach-regression
(y = a+b x)
und Berechnen des Korrelationskoeffizienten
Drucken der Ergebnisse für die Veröffentlichung

Bild 8. Arbeitsflußdiagramm für die Berechnung der Anschaffungskosten

Strecke zu genaueren Ergebnissen zu kommen. Der Streckenmeterwert ist mit der oben erwähnten Verhältniszahl zu multiplizieren, die das durch örtliche Umstände und das unterschiedliche Preisniveau bedingte Kostenverhältnis zum Bundesmittel ausdrückt. Wegen der erforderlichen zahlreichen und verschiedenartigen Rechenoperationen können die Anschaffungskosten in dieser Form nur mit Hilfe elektronischer Rechenanlagen ermittelt werden.

2. Preisbeobachtung

Um den Vergabestellen der Linientechnik einen Überblick über die Marktsituation und den Bauvorbereitungsstellen die Möglichkeit zur Veranschlagung der Bauvorhaben mit zeitgemäßen Preisen zu verschaffen, ist eine laufende Preisbeobachtung notwendig. Diese wurde bisher dezentral für bestimmte zusammengefaßte Gebiete in einem manuellen, schon lange nicht mehr befriedigenden Verfahren durch-

Tabelle 2

Grund- und Einheitenkosten für Teile von Ortsnetzanlagen nach dem Preisstand von 1965

Gegenstand	Grundkosten (a)	Einheitenkosten (b)
Streckenmeter Erdkabel	8900,— DM/km	—
Kabelmeter Erdkabel 0,4 . . . 0,8 mm ϕ	2911,— DM/km	—
Kabelmeter Röhrenkabel 0,4 . . . 0,8 mm ϕ	3427,— DM/km	—
Adernmeter (DA) 0,4 mm ϕ	—	47,— DM/km
0,6 mm ϕ	—	75,— DM/km
0,8 mm ϕ	—	117,— DM/km
Streckenmeter Kabelkanal	36,50 DM/m	—
Zugmeter Kabelkanal	—	8,70 DM/m
Oberirdische Linie aus Holzmasten einschl. Ausrüstung	1817,— DM/km	
Blankdrahtleitung 1,5 mm ϕ Bz	—	232,— DM/km

geführt. Es wäre erwünscht, auf diesem Gebiet zu einer besseren Methode mit größerer Aussagefähigkeit zu kommen.

Auf dem Wege hierzu wurden im Jahre 1964 zentrale Auswertungen der im ganzen Bundesgebiet über Arbeiten an Teilnehmereinrichtungen abgeschlossenen Verträge durchgeführt. Später folgten Auswertungen der Verträge über Arbeiten am oberirdischen Leitungsnetz. Der nächste Schritt werden Auswertungen der Verträge über Lötarbeiten sein. Voraussetzung für derartige Auswertungen ist eine eindeutige und im ganzen Bundesgebiet gleichmäßige Festlegung der Einzelleistungen, für die Preise anzubieten sind, in einem einheitlichen Leistungsverzeichnis. Eine weitere Voraussetzung ist die zweckmäßige Verschlüsselung der Leistungspositionen in einem Zahlensystem. Die Bearbeitung der Vertragsdaten für die Preisbeobachtung beruht auf den gleichen Formeln der mathematischen Statistik wie die Bearbeitung der Anschaffungskosten, so daß im wesentlichen das gleiche Programm zugrunde gelegt werden kann. Es werden auch hier gewogene Mittelwerte und Streuwerte berechnet, Ausreißertests durchgeführt und die Verhältniszahlen zwischen Amts- und Bundesmittelwerten errechnet.

Bei weiterem Ausbau dieses Verfahrens, wobei man die Mittelwerte für bestimmte Wirtschaftsgebiete (mehrere FA-Bezirke) zusammenfassen könnte, wäre es möglich, die bisherige Art der Preisbeobachtung fallen zu lassen und statt dessen die Ämter vom FTZ aus vierteljährlich mit den neuesten Auswertungen zu versorgen. Zu diesem Zweck müßten laufend die Leistungsverzeichnisse aller neu abgeschlossenen Verträge dem FTZ zugeführt werden. Dies wäre betriebsorganisatorisch gut lösbar, wenn die Fernmeldeämter mit Dateneingabeplätzen ausgerüstet würden. In diesem Fall könnte die Durchgabe der notwendigen Daten an das Rechenzentrum des FTZ über die Lochstreifenkarte mit dem Führen einer Preiskartei beim Amt kombiniert werden. Dabei ergeben sich weitere Integrationsmöglichkeiten zu dem in Abschnitt VIII erwähnten Aufstellen von Bauanschlägen.

VI. Arbeitsaufwand im Kabelmeßdienst und Kabelfehlerstatistik

1. Wochenbericht über den Arbeitsaufwand im Kabelmeßdienst

Bei der Untersuchung des Arbeitsaufwandes im Kabelmeßdienst liegt es nahe, dasselbe Verfahren einzuführen wie bei der Erfassung der Leistungen im Fernmeldebaudienst. Damit ist es möglich, für die Erfassung und Auswertung der Daten dieselben Programme zu verwenden, wenn man die verschiedenen Arbeiten des Kabelmeßdienstes in Leistungsarten einordnet, die den Leistungsarten im Fernmeldebaudienst entsprechen, und sie mit gleichartig aufgebauten Leistungskennummern bezeichnet.

Seit Beginn des Jahres 1965 haben alle Fernkabel- und Ortskabel-Meßtrupps Wochenberichte zu führen, für die zunächst das von den Fernmeldebautrupps verwendete Formblatt „Wochenbericht im Fernmeldebau“ (Bild 4 a) zu benutzen ist. Um die im Kabelmeßdienst vorkommenden Arbeiten eindeutig erfassen zu können, wurde ein „**Verzeichnis der Leistungsarten im Kabelmeßdienst**“ aufgestellt. Die Leistungskennummern bestehen wie bei den Leistungen im Fernmeldebaudienst aus einer vierstelligen und einer zweistelligen Zifferngruppe. Durch die erste (vierstellige) Zifferngruppe wird die Arbeit der entsprechenden Verrechnungsstelle des Titelverzeichnisses der Deutschen Bundespost zugeordnet. Bei Arbeiten, die nicht eindeutig einer bestimmten Verrechnungsstelle zugeordnet werden können, steht die Zifferngruppe 0000. Die erste Stelle der zweiten (zweistelligen) Zifferngruppe unterscheidet die Betriebsarten nach der Art der Tätigkeit, nämlich

1. Untersuchungen, Prüfen, Messen,
6. Instandsetzen, Fehlerbeseitigen,
7. Ändern, Verlegen.

Die zweite Ziffer läßt die Arbeit im einzelnen und den Gegenstand der Arbeit erkennen, wie

11 Abnahmemessungen an Anschlußkabeln und unbespulten Ortsverbindungskabeln,
12 Gewährleistungsmessungen an Anschlußkabeln und unbespulten Ortsverbindungskabeln.

Jeder Kabelmeßtrupp ist durch eine siebenstellige Ordnungszahl, die in den Spalten 4 bis 10 des als Lochbeleg ausgebildeten Wochenberichtsformblattes (Bild 4 a) eingetragen wird, eindeutig bezeichnet. In dieser Ordnungszahl ist die Kennzeichnung des Fernmeldeamtes und eine Ausscheidungsziffer für Orts- und Fernkabelmeßdienst enthalten. Die Spalten 11 bis 14 und 30 bis 39 sind für den Kabelmeßdienst ohne Bedeutung und bleiben leer. Wohl aber ist die Ortsnetzkennzahl für den Arbeitsort, wenn dies sinnvoll ist, und u. U. die Kennzahl des

Anschlußbereiches einzutragen. Immer sind natürlich die in Frage kommenden Leistungskennummern, die Leistungsmenge in Stück und die Arbeitszeit einzusetzen.

Die Daten aus den Wochenberichten im Kabelmeßdienst werden für alle Fernmeldeämter beim Rechenzentrum Hannover abgelocht und verarbeitet. Jeder Zeile des Wochenberichtes entspricht eine Lochkarte. Erfassungsprotokolle und Fehlerlisten werden wie für die Wochenberichte im Fernmeldebaudienst gefertigt. Der Berichtigungsdienst ist entsprechend geregelt. Vierwöchentlich werden vom Rechenzentrum je Fernmeldeamt zwei Listen erstellt und den Ämtern zugesandt, und zwar

Liste 1: Arbeitsaufwand der einzelnen Kabelmeßtrupps

In dieser Liste sind die Leistungskennummern in aufsteigender Reihenfolge senkrecht und die Meßtrupps waagerecht angeordnet. Bei jeder Leistungskennummer ist die bis zum Ende des Berichtszeitraumes aufgelaufene Summe der Stunden und der Stückzahlen aufgeschrieben. In der letzten Spalte (Zeilensumme) erscheint die Summe der Stunden und Stückzahlen für alle Orts- oder Fernkabelmeßtrupps des Fernmeldeamtes. Die Spaltensummen dagegen zeigen die insgesamt geleisteten Stunden jedes einzelnen Trupps.

Liste 2: Gesamtarbeitsaufwand der Kabelmeßstelle

Diese Liste bringt die aufgelaufenen Summen der Stunden und der Stückzahlen bei jeder Leistungskennummer für das gesamte Fernmeldeamt, sowie die Arbeitszeit je Stück bei denjenigen Leistungskennummern, bei denen Mengenangaben zu machen sind. In letzterem Fall bringt die Liste auch das Verhältnis des spezifischen Arbeitsaufwandes des Amtes zum Bundesdurchschnitt.

Liste 3: Örtliche Verteilung des Arbeitsaufwandes im Kabelmeßdienst

Eine dritte, einmal jährlich erstellte Liste soll am Jahresschluß die Verteilung des Arbeitsaufwandes im Kabelmeßdienst auf die verschiedenen Ortsnetz- und Knotenvermittlungsstellen-Bereiche zeigen. Dabei werden Beziehungen zu den in den betrachteten Bereichen vorhandenen Netzen hergestellt und entsprechende Verhältniszahlen errechnet. Die Ämter können hieraus die unterschiedliche Störungsanfälligkeit ihrer Ortsnetze erkennen.

Am Schluß des Rechnungsjahres werden zentrale Jahresauswertungen gefertigt, in denen nach Errechnung der Bundesmittelwerte für die Leistungskennummern, die Abnahme- und Fehlermessungen betreffen, je Amt Mittelwerte, zugehörige Streuungen (Standardabweichungen) und Ausreißertests durchgeführt werden. Außerdem werden die Anteile der verschiedenen Arbeiten am Gesamtarbeitsumfang und dgl. errechnet.

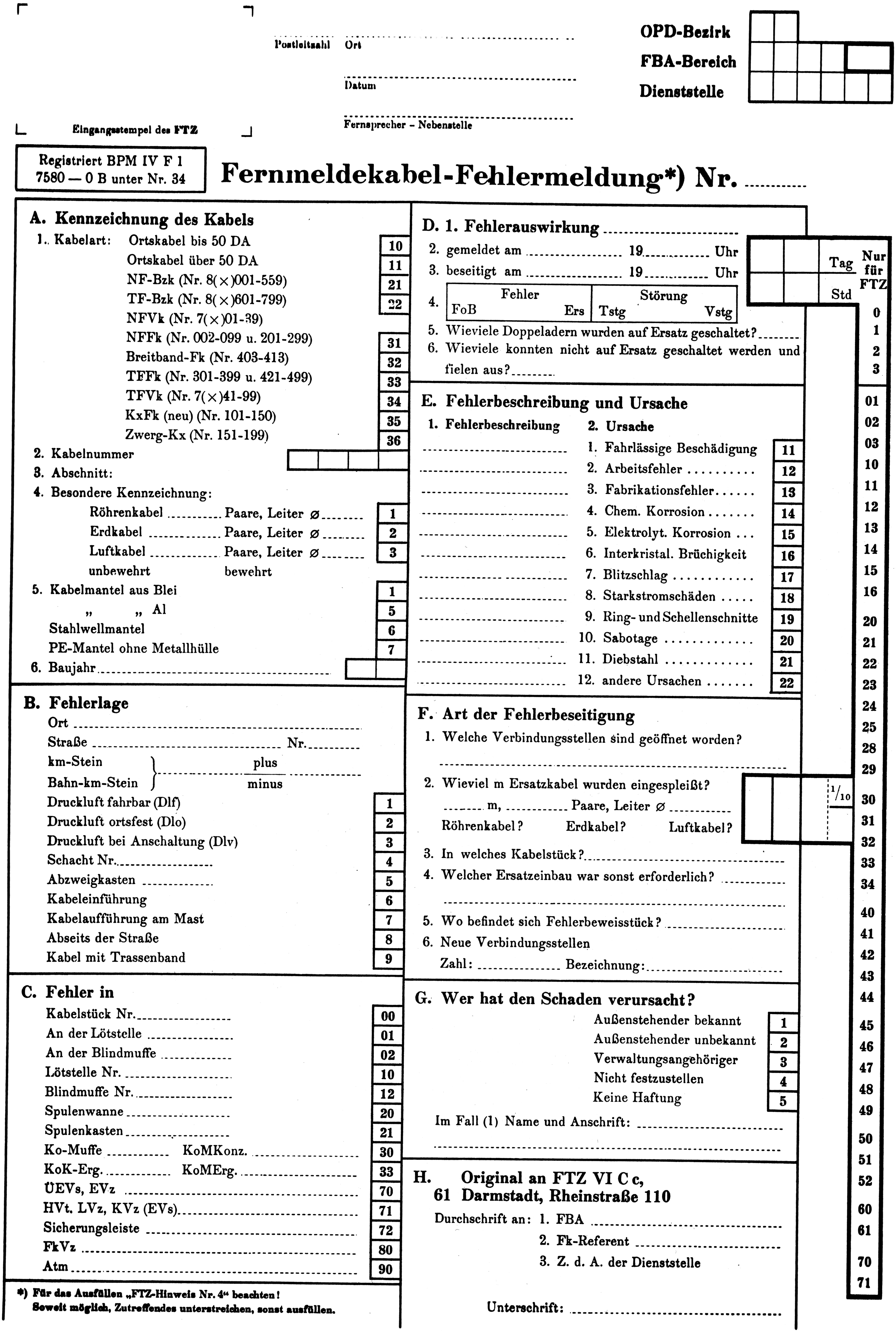
2. Zusammenfassung der Meldungen über den Arbeitsaufwand und zur Kabelfehlerstatistik

Seit Jahren haben die Kabelmeßstellen über beseitigte Kabelfehler von Fall zu Fall mit Hilfe des als Lochbeleg ausgebildeten

Formblattes **„Fernmeldekabel-Fehlermeldung“** (Bild 9) zu berichten. Die Daten aus diesen Meldungen bilden die Grundlage für die vom FTZ jährlich herausgegebene Kabelfehlerstatistik. Es bestehen jedoch Überschneidungen mit der neu eingeführten Meldung über den Arbeitsaufwand im Kabelmeßdienst. Es wäre daher vorteilhaft, wenn es gelänge, beide Meldungen zu vereinigen. Das hat zur Voraussetzung, daß über den Arbeitsaufwand nicht mehr wöchentlich, sondern täglich berichtet wird. Andernfalls wäre es nicht möglich, die Kabelfehler mit allen notwendigen Angaben eindeutig zu erfassen. Da das Ablochen von Belegen im Handlochverfahren arbeitsmäßig ein Engpaß ist, versucht man, die Belege unmittelbar in Lochkarten umzusetzen [9]. Eine Einrichtung hierfür ist der Markierungsleser, der in diesem Fall — in der Linientechnik erstmalig — eingesetzt werden soll. Das neue Formblatt **„Erhebungsblatt über den Kabelmeßdienst“** wird daher so gestaltet, daß es sich für die Verwendung im Markierungsleser eignet. Die gemeinten Daten müssen durch Anstreichen im Vordruck erkennbar gemacht werden. Der Eingabebeleg für den Markierungsleser kann bis zu 1000 Markierungsstellen enthalten, die in 50 Zeilen mit je 20 Stellen angeordnet sind. Die Markierungsstellen einer Zeile sind in zwei Gruppen zu je 10 Stellen, die als „Wort“ bezeichnet werden, unterteilt. Jedes „Wort“ wird für sich abgefragt; es kann allerdings bei entsprechender Steuerung auch in zwei „Halbworte“ mit den Markierungsstellen 0—4 und 5—9 derart unterteilt werden, daß jedes „Halbwort“ für sich abgefragt wird. Innerhalb eines „Wortes“ oder „Halbwortes“ ist jeweils nur eine Markierung möglich. Bild 10 zeigt das in dem von 1967 an laufenden Versuchsbetrieb verwendete Belegblatt. Es dürfte vor der endgültigen Einführung des Verfahrens auf Grund der bis dahin gemachten Erfahrungen noch in einigen Punkten geändert werden.

Der Teil 1 enthält die Angaben über den Arbeitsaufwand und bezieht sich jeweils auf einen Arbeitstag, während der Teil 2 die Daten umfaßt, die sich beim Einmessen und Beseitigen von Fehlern für die Kabelfehlerstatistik ergeben. Werden von einem Meßtrupp am selben Tage mehrere Fehler bearbeitet, so muß in der Regel wegen der unterschiedlichen Angaben im Teil 2 für jeden Fehler ein besonderes Formblatt ausgefüllt werden. Die Punkte 1. bis 1.8 enthalten Angaben über die Art des Kabels, die Art der durchgeführten Arbeiten, sowie die angefallenen Stückzahlen und die hierfür aufgewendeten Stunden, ferner über etwaige Nebenarbeitsstunden und Ausfallstunden. Bei Abnahme- und Gewährleistungsmessungen rechnen je 10 Doppeladern als ein Stück, während bei Fehlermessungen alle für die Ortung eines Fehlers notwendigen Messungen zusammen als ein Stück zählen. Unter den Punkten 2. bis 2.4 ist der Meßtrupp, der Monat und das Ortsnetz (Anschlußbereich) des Arbeitsortes zu kennzeichnen.

Die Ordnungsnummer des Amtes sowie etwa sonst noch notwendige Ordnungsmerkmale entnimmt der Markierungsleser aus dem als Leitbeleg ausgebildeten Vorbinder, der im übrigen den Lauf der Erhebungsblätter vor der Absendung an das Rechenzentrum und nach Rückkehr zum Fernmeldeamt regelt. Der Markierungsleser locht sie



Postleitzahl Ort ....

Datum ....

Fernsprecher - Nebenstelle ....

Eingangsstempel des FTZ

OPD-Bezirk ☐☐

FBA-Bereich ☐☐☐☐☐

Dienststelle ☐☐☐☐☐

Registriert BPM IV F 1
7580 — 0 B unter Nr. 34

Fernmeldekabel-Fehlermeldung*) Nr. ....

A. Kennzeichnung des Kabels

1. Kabelart:	Ortskabel bis 50 DA	10
	Ortskabel über 50 DA	11
	NF-Bzk (Nr. 8(×)001-559)	21
	TF-Bzk (Nr. 8(×)601-799)	22
	NFVk (Nr. 7(×)01-39)	
	NFFk (Nr. 002-099 u. 201-299)	31
	Breitband-Fk (Nr. 403-413)	32
	TFFk (Nr. 301-399 u. 421-499)	33
	TFVk (Nr. 7(×)41-99)	34
	KxFk (neu) (Nr. 101-150)	35
	Zwerg-Kx (Nr. 151-199)	36
2. Kabelnummer		☐☐☐☐
3. Abschnitt:		
4. Besondere Kennzeichnung:		
	Röhrenkabel .... Paare, Leiter ∅	1
	Erdkabel .... Paare, Leiter ∅	2
	Luftkabel .... Paare, Leiter ∅	3
	unbewehrt bewehrt	
5. Kabelmantel aus Blei		1
„ „ Al		5
Stahlwellmantel		6
PE-Mantel ohne Metallhülle		7
6. Baujahr		☐☐

B. Fehlerlage

Ort ....

Straße .... Nr. ....

km-Stein } .... plus

Bahn-km-Stein } .... minus

Druckluft fahrbar (Dlf)	1
Druckluft ortsfest (Dlo)	2
Druckluft bei Anschaltung (Dlv)	3
Schacht Nr.	4
Abzweigkasten	5
Kabeleinführung	6
Kabelaufführung am Mast	7
Abseits der Straße	8
Kabel mit Trassenband	9

C. Fehler in

Kabelstück Nr.	00
An der Lötstelle	01
An der Blindmuffe	02
Lötstelle Nr.	10
Blindmuffe Nr.	12
Spulenwanne	20
Spulenkasten	21
Ko-Muffe .... KoMKonz.	30
KoK-Erg. .... KoMErg.	33
ÜEVs, EVz	70
HVt. LVz, KVz (EVs)	71
Sicherungsleiste	72
FkVz	80
Atm	90

D. 1. Fehlerauswirkung ....

2. gemeldet am .... 19.......... Uhr

3. beseitigt am .... 19.......... Uhr

4.

Fehler		Störung	
FoB	Ers	Tstg	Vstg

5. Wieviele Doppeladern wurden auf Ersatz geschaltet? ....

6. Wieviele konnten nicht auf Ersatz geschaltet werden und fielen aus? ....

E. Fehlerbeschreibung und Ursache

1. Fehlerbeschreibung	2. Ursache	
....	1. Fahrlässige Beschädigung	11
....	2. Arbeitsfehler	12
....	3. Fabrikationsfehler	13
....	4. Chem. Korrosion	14
....	5. Elektrolyt. Korrosion ...	15
....	6. Interkristal. Brüchigkeit	16
....	7. Blitzschlag	17
....	8. Starkstromschäden	18
....	9. Ring- und Schellenschnitte	19
....	10. Sabotage	20
....	11. Diebstahl	21
....	12. andere Ursachen	22

F. Art der Fehlerbeseitigung

1. Welche Verbindungsstellen sind geöffnet worden? ....

2. Wieviel m Ersatzkabel wurden eingespleißt? ☐☐☐ 1/10
   .... m, ... Paare, Leiter ∅ ....
   Röhrenkabel? Erdkabel? Luftkabel?

3. In welches Kabelstück? ....

4. Welcher Ersatzeinbau war sonst erforderlich? ....

5. Wo befindet sich Fehlerbeweisstück? ....

6. Neue Verbindungsstellen
   Zahl: .... Bezeichnung: ....

G. Wer hat den Schaden verursacht?

Außenstehender bekannt	1
Außenstehender unbekannt	2
Verwaltungsangehöriger	3
Nicht festzustellen	4
Keine Haftung	5

Im Fall (1) Name und Anschrift: ....

H. Original an FTZ VI C c, 61 Darmstadt, Rheinstraße 110

Durchschrift an: 1. FBA ....
2. Fk-Referent ....
3. Z. d. A. der Dienststelle

Unterschrift: ....

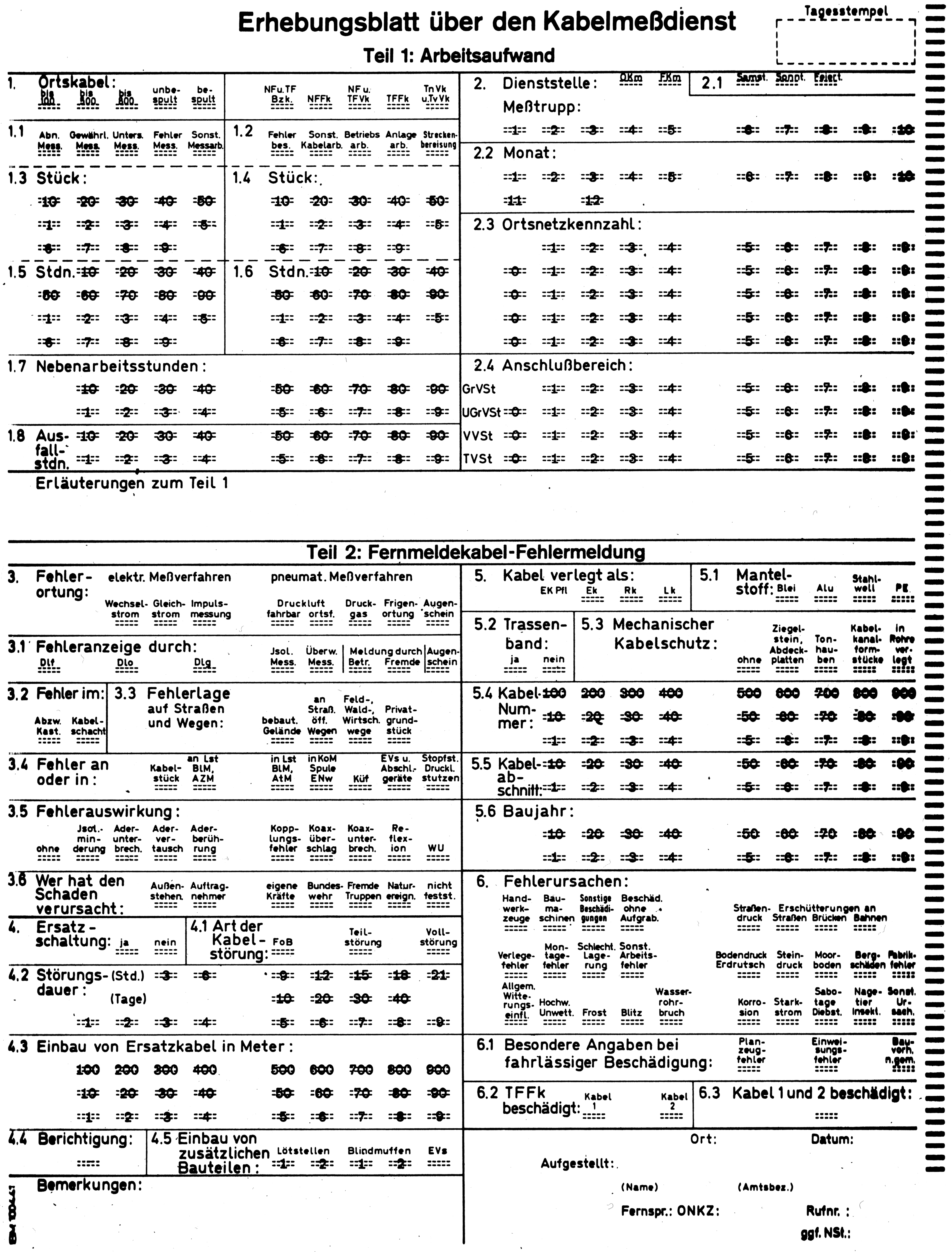
Nur für FTZ: Tag ☐☐ Std ☐☐

0, 1, 2, 3

01, 02, 03, 10, 11, 12, 13, 14, 15, 16, 20, 21, 22, 23, 24, 25, 28, 29, 30, 31, 32, 33, 34, 40, 41, 42, 43, 44, 45, 46, 47, 48, 49, 50, 51, 52, 60, 61, 70, 71

*) Für das Ausfüllen „FTZ-Hinweis Nr. 4" beachten!
Soweit möglich, Zutreffendes unterstreichen, sonst ausfüllen.

Bild 9. Formblatt für Kabelfehlermeldung



Erhebungsblatt über den Kabelmeßdienst

Tagesstempel

Teil 1: Arbeitsaufwand

1. Ortskabel: bis 100 bis 500 bis 800 unbespult bespult — NFu.TF Bzk. NFFk NF u. TFVk TFFk TnVk u.TvVk

1.1 Abn. Mess. Gewährl. Mess. Unters. Mess. Fehler Mess. Sonst. Messarb.

1.2 Fehler bes. Sonst. Kabelarb. Betriebs arb. Anlage arb. Streckenbereisung

1.3 Stück:
10 20 30 40 50
1 2 3 4 5
6 7 8 9

1.4 Stück:
10 20 30 40 50
1 2 3 4 5
6 7 8 9

1.5 Stdn. 10 20 30 40
50 60 70 80 90
1 2 3 4 5
6 7 8 9

1.6 Stdn. 10 20 30 40
50 60 70 80 90
1 2 3 4 5
6 7 8 9

1.7 Nebenarbeitsstunden:
10 20 30 40 50 60 70 80 90
1 2 3 4 5 6 7 8 9

1.8 Ausfallstdn. 10 20 30 40 50 60 70 80 90
1 2 3 4 5 6 7 8 9

Erläuterungen zum Teil 1

2. Dienststelle: OKm FKm

2.1 Samst. Sonnt. Feiert.

Meßtrupp:
1 2 3 4 5 6 7 8 9 10

2.2 Monat:
1 2 3 4 5 6 7 8 9 10
11 12

2.3 Ortsnetzkennzahl:
1 2 3 4 5 6 7 8 9
0 1 2 3 4 5 6 7 8 9
0 1 2 3 4 5 6 7 8 9
0 1 2 3 4 5 6 7 8 9
0 1 2 3 4 5 6 7 8 9

2.4 Anschlußbereich:
GrVSt 1 2 3 4 5 6 7 8 9
UGrVSt 0 1 2 3 4 5 6 7 8 9
VVSt 0 1 2 3 4 5 6 7 8 9
TVSt 0 1 2 3 4 5 6 7 8 9

Teil 2: Fernmeldekabel-Fehlermeldung

3. Fehlerortung: elektr. Meßverfahren: Wechselstrom Gleichstrom Impulsmessung — pneumat. Meßverfahren: Druckluft fahrbar ortsf. Druckgas Frigenortung Augenschein

3.1 Fehleranzeige durch: Dlf Dlo Dlg Jsol. Mess. Überw. Mess. Meldung durch Betr. Fremde Augenschein

3.2 Fehler im: Abzw. Kast. Kabelschacht

3.3 Fehlerlage auf Straßen und Wegen: bebaut. Gelände an Straß. öff. Wegen Feld-, Wald-, Wirtsch. wege Privatgrundstück

3.4 Fehler an oder in: Kabelstück an Lst BlM, AZM in Lst BlM, AtM in KoM Spule ENw Küf EVs u. Abschl.-geräte Stopfst. Druckl. stutzen

3.5 Fehlerauswirkung: ohne Jsol.-minderung Aderunterbrech. Aderver-tausch Aderberührung Kopplungsfehler Koaxüberschlag Koaxunterbrech. Reflexion WU

3.6 Wer hat den Schaden verursacht: Außenstehen. Auftragnehmer eigene Kräfte Bundeswehr Fremde Truppen Naturereign. nicht festst.

4. Ersatzschaltung: ja nein

4.1 Art der Kabelstörung: FoB Teilstörung Vollstörung

4.2 Störungsdauer: (Std.) 3 6 9 12 15 18 21
(Tage) 10 20 30 40
1 2 3 4 5 6 7 8 9

4.3 Einbau von Ersatzkabel in Meter:
100 200 300 400 500 600 700 800 900
10 20 30 40 50 60 70 80 90
1 2 3 4 5 6 7 8 9

4.4 Berichtigung:

4.5 Einbau von zusätzlichen Bauteilen: Lötstellen 1 2 Blindmuffen 1 2 EVs

Bemerkungen:

5. Kabel verlegt als: EK Pfl Ek Rk Lk

5.1 Mantelstoff: Blei Alu Stahlwell PE

5.2 Trassenband: ja nein

5.3 Mechanischer Kabelschutz: ohne Ziegelstein, Abdeckplatten Tonhauben Kabelkanalformstücke In Rohre verlegt

5.4 Kabel-Nummer: 100 200 300 400 500 600 700 800 900
10 20 30 40 50 60 70 80 90
1 2 3 4 5 6 7 8 9

5.5 Kabelabschnitt: 10 20 30 40 50 60 70 80 90
1 2 3 4 5 6 7 8 9

5.6 Baujahr:
10 20 30 40 50 60 70 80 90
1 2 3 4 5 6 7 8 9

6. Fehlerursachen:
Handwerkzeuge Baumaschinen Sonstige Beschädigungen Beschäd. ohne Aufgrab. Straßendruck Erschütterungen an Straßen Brücken Bahnen
Verlegefehler Montagefehler Schlecht. Lagerung Sonst. Arbeitsfehler Bodendruck Erdrutsch Steindruck Moorboden Bergschäden Fabrikfehler
Allgem. Witterungseinfl. Hochw. Unwett. Frost Blitz Wasserrohrbruch Korrosion Starkstrom Sabotage Diebst. Nagetier Insekt. Sonst. Ursach.

6.1 Besondere Angaben bei fahrlässiger Beschädigung: Planzeugfehler Einweisungsfehler Bauverh. n.gem.

6.2 TFFk beschädigt: Kabel 1 Kabel 2

6.3 Kabel 1 und 2 beschädigt:

Ort: Datum:

Aufgestellt:

(Name) (Amtsbez.)

Fernspr.: ONKZ: Rufnr.:

ggf. NSt.:

Bild 10. Erhebungsblatt für den Kabelmeßdienst in alle Karten, die den durch den Vorbinder zusammengefaßten Belegen entsprechen.

Für jede Ortung und Beseitigung eines Kabelfehlers sind im Teil 2 die entsprechenden Angaben an der im Vordruck vorgesehenen Stelle durch das Anstreichen zwischen den vorgedruckten Linien kenntlich zu machen. Dabei ist die Lage des Fehlers in Bezug auf die Kabelanlage mit einer von 7 Möglichkeiten zu bezeichnen (3.4 in Bild 10), während für die Fehlerauswirkung eine von 9 Möglichkeiten (Isolationsminderung, Adernunterbrechung, Adernvertauschung usw.) in Frage kommt (3.5 in Bild 10). Für eingebaute Ersatzkabel können die Längen, abgerundet auf volle Meter, in je einer besonderen Zeile für Hunderter, Zehner und Einer erfaßt werden (4.3 in Bild 10). In gleicher Weise werden Kabelnummer, Kabelabschnitt und Baujahr dargestellt. Die Kabel des Fernmeldedienstes werden mit dreistelligen, die Kabelabschnitte mit zweistelligen Nummern gekennzeichnet. Das Baujahr ist mit den beiden letzten Ziffern anzugeben, wofür das Erhebungsblatt eine Zehner- und eine Einerzeile vorsieht. Von der Möglichkeit der Halbwortbildung wurde an mehreren Stellen Gebrauch gemacht (z. B. 4./4.1 und 6.2/6.3).

Die Daten aus den „Erhebungsblättern über den Kabelmeßdienst“ werden beim FTZ erfaßt und in einer elektronischen Datenverarbeitungsanlage weiterverarbeitet. Dabei werden die Listen über den Arbeitsaufwand der einzelnen Kabelmeßtrupps und den Gesamtarbeitsaufwand der Kabelmeßstelle künftig nur halbjährlich erstellt. Jährlich einmal wird die Verteilung des Arbeitsaufwandes auf die Ortsnetze mit Verdichtung auf die Bereiche der Knotenvermittlungsstellen ausgedruckt.

Für die jährlich veröffentlichten Auswertungen der Fernmeldekabel-Fehlerstatistik waren bisher neben den mit konventionellen Lochkartenmaschinen durchgeführten Additionen noch umfangreiche und zeitaufwendige Rechnungen mit Handrechenmaschinen notwendig. Künftig werden die jährlichen Gesamtauswertungen der Fehlerdaten in Datenverarbeitungsanlagen durchgeführt und dadurch wesentlich beschleunigt und vereinfacht. Außerdem sind weitergehende Untersuchungen — über mehrere Jahre hinweg — möglich. Aus der Kabelfehlerstatistik kann man Ansatzpunkte gewinnen für gezielte Maßnahmen zum Vermeiden von Kabelschäden.

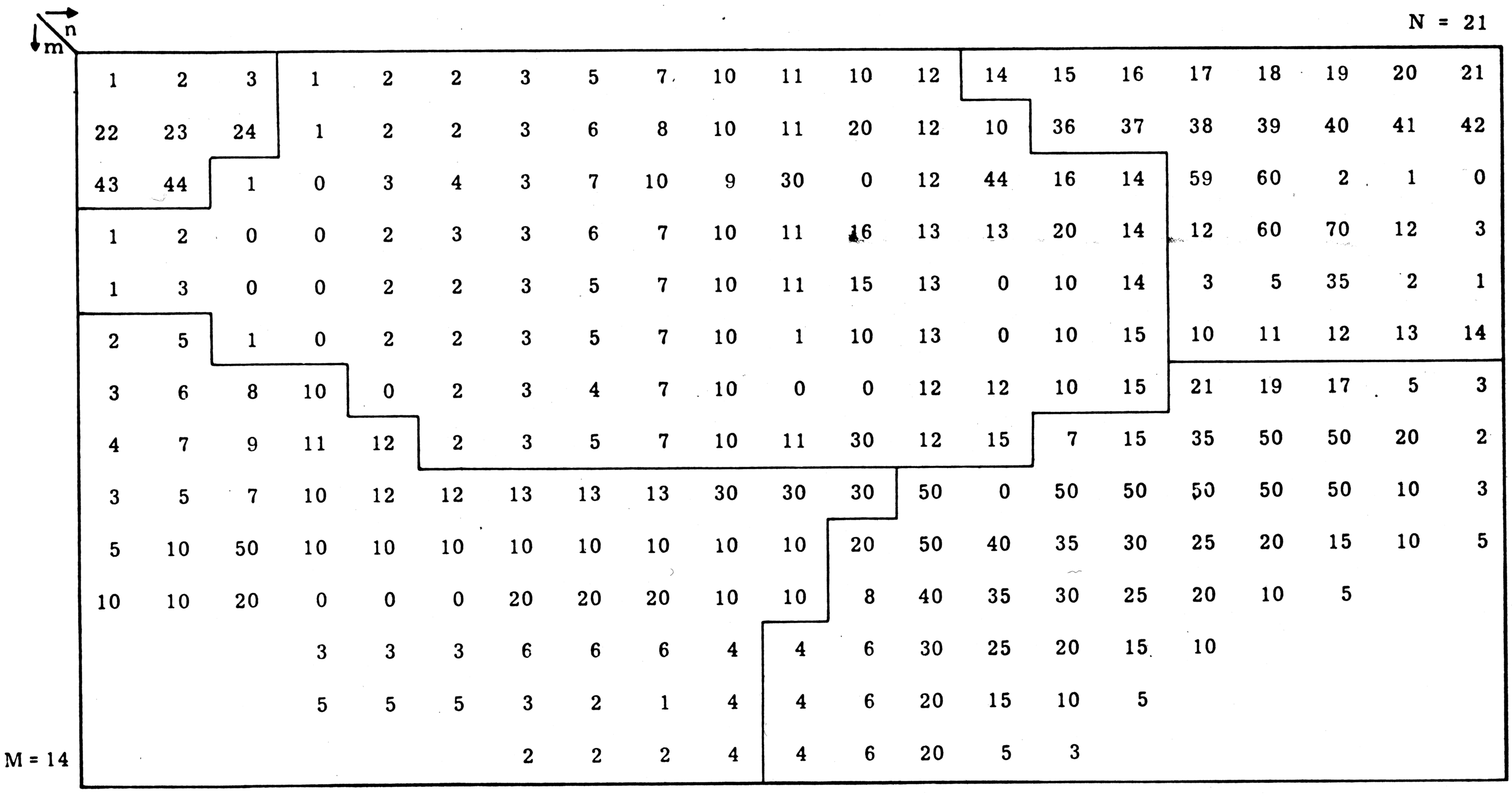
VII. Anwendung der elektronischen Datenverarbeitung bei der Ortsnetzplanung

1. Klärung von Planungsfragen in Einzelfällen

Um das für den Ausbau der Fernsprech-Ortsnetze zur Verfügung stehende Kapital möglichst wirtschaftlich einsetzen zu können, werden für die einzelnen Ortsnetze Entwicklungsplanungen durchgeführt, die den Bedarf an Fernmeldeanlagen in den verschiedenen Teilen des Ortsnetzes für einen langen Zeitraum im voraus erkennen lassen sollen [13, 22]. Dabei ist zu klären, in wieviele Anschlußbereiche das Ortsnetz einzuteilen ist, wie die Grenzen zwischen diesen zu ziehen sind, wieviele Vermittlungsstellen eingerichtet werden sollen und für wieviele Beschaltungseinheiten diese im Endausbau zu planen sind. Die günstigste Zahl von Anschlußbereichen in einem Ortsnetz ist einerseits von geographischen Gegebenheiten, andererseits von der bis zum Ende des Planungszeitraumes zu erwartenden Zahl und Verteilung der Leitungsquellen innerhalb des ganzen Ortsnetzbereiches abhängig. Man erfaßt den voraussichtlichen Bedarf an Anschlußleitungen je Flächeneinheit in Blockübersichten, wobei man einen von der Art der Bebauung abhängigen relativen Ausbaugrad (Anteil möglicher Wohnungen, für den im Endausbau Anschlußleitungen erforderlich sind) zugrunde legt. Die Leitungszahlen aus den Blockübersichten werden in ein dem Ortsnetzplan überlagertes Gitternetz eingetragen. Die Seitenlängen der Quadrate des Gitternetzes entsprechen je nach den Notwendigkeiten der Ortsnetze einer Länge von 100 oder 200 m. Die Summe der Leitungszahlen je Quadrat ist ein Maß für die Leitungsdichte. So entsteht der **Dichteplan,** der die Verteilung der Leitungsdichten im Ortsnetzbereich erkennen läßt und als Grundlage für die Einteilung des Ortsnetzes in Anschlußbereiche dient. Für die Einrichtung von Vermittlungsstellen bieten sich die Gebiete hoher Leitungsdichte an, um die herum die Anschlußbereiche sinnvoll abzugrenzen sind. Es ist nicht möglich, im ersten Versuch eine optimale Einteilung zu finden. Vielmehr gibt es in der Regel eine Reihe von sinnvoll erscheinenden Lösungen, aus denen durch Wirtschaftlichkeitsrechnungen die günstigste zu ermitteln ist. Innerhalb jedes vorläufig abgegrenzten Anschlußbereiches ist der **„optimale Netzknotenpunkt“** zu suchen, d. h. der Punkt, an dem die Vermittlungsstelle liegen müßte, damit für den Ausbau des Anschlußkabelnetzes und der Ortsverbindungskabel die geringsten Kosten entstehen. Unter der Voraussetzung annähernd orthogonaler Leitungsführung liegt dieser Punkt dort, wo aus jeweils zwei gegenüberliegenden Anschlußbereichshälften über alle Anschluß- und Ortsverbindungskabel gleich viele Doppeladern zusammenlaufen. Kommen unterschiedliche Leiterdicken in Frage, so sind diese durch Multiplikation mit entsprechenden Kostenfaktoren über den Rechenwert „relative Doppelader“ auf eine einheitliche Basis zu stellen. Danach läßt sich der optimale Netzknotenpunkt unter Verwendung eines dem Dichteplan angepaßten Rechenblattes nach einem einfachen Schema ermitteln. Nach demselben Schema kann man die Netzausbaukosten des Anschlußnetzes sowie die Mehrkosten im Anschlußnetz bei Lage der Vermittlungsstelle außerhalb des optimalen Netzknotenpunktes errechnen.

Im Zusammenhang mit den vorstehend angedeuteten Ermittlungen sind bei großen Ortsnetzen umfangreiche Rechenarbeiten durchzuführen, die sich mit Hilfe von elektronischen Rechenanlagen wesentlich schneller als mit Handrechenmaschinen erledigen lassen [12]. Auf diese Weise kann auch erreicht werden, daß mehr Varianten in die Ermittlung der optimalen Lösung einbezogen werden, da man die Zunahme der Rechenarbeit nicht zu scheuen braucht. Beim FTZ wurden daher diese Arbeiten für eine elektronische Rechenanlage programmiert. Es zeigte sich aber, daß die Anlage, für die das Rechenprogramm ursprünglich aufgestellt und mit der auch die grundsätzliche Möglichkeit der Durchführung erprobt worden war, für den praktischen Einsatz wegen zu geringer Speicherfähigkeit nicht ausreichte. Das Programm, das mehrere tausend Maschinenbefehle umfaßt, wurde daher auf andere Anlagen umgestellt und erweitert. Das Programm läßt in dieser Form eine Dichtematrix mit bis zu 100 Zeilen und Spalten — also maximal 10 000 Elementen — zu, wobei eine Aufteilung in bis zu 50 Anschlußbereiche möglich ist. Das Programm berechnet:

a) die optimalen Netzknotenpunkte für vorgegebene Anschlußbereiche,
b) die Doppelader-km der Anschlußleitungen der einzelnen Anschlußbereiche für die in diesen liegenden Quellpunkte,
c) die Doppelader-km der Ortsverbindungsleitungen,
d) die relativen Doppelader-km der einzelnen Anschlußbereiche und des ganzen Ortsnetzes für jeden einzelnen Lösungsfall.



1	2	3	1	2	2	3	5	7	10	11	10	12	14	15	16	17	18	19	20	21
22	23	24	1	2	2	3	6	8	10	11	20	12	10	36	37	38	39	40	41	42
43	44	1	0	3	4	3	7	10	9	30	0	12	44	16	14	59	60	2	1	0
1	2	0	0	2	3	3	6	7	10	11	16	13	13	20	14	12	60	70	12	3
1	3	0	0	2	2	3	5	7	10	11	15	13	0	10	14	3	5	35	2	1
2	5	1	0	2	2	3	5	7	10	1	10	13	0	10	15	10	11	12	13	14
3	6	8	10	0	2	3	4	7	10	0	0	12	12	10	15	21	19	17	5	3
4	7	9	11	12	2	3	5	7	10	11	30	12	15	7	15	35	50	50	20	2
3	5	7	10	12	12	13	13	13	30	30	30	50	0	50	50	50	50	50	10	3
5	10	50	10	10	10	10	10	10	10	10	20	50	40	35	30	25	20	15	10	5
10	10	20	0	0	0	20	20	20	10	10	8	40	35	30	25	20	10	5		
			3	3	3	6	6	6	4	4	6	30	25	20	15	10				
			5	5	5	3	2	1	4	4	6	20	15	10	5					
						2	2	2	4	4	6	20	5	3						

Bild 11. Dichteplan

Das Ausgangsmaterial für die Berechnungen sind die Zahlen der Leitungsdichte in den einzelnen Quadraten des Dichteplanes und die durch die Grenzquadrate bestimmten Anschlußbereichsgrenzen. Der Dichteplan (Bild 11) stellt eine aus m Zeilen und n Spalten bestehende Matrix dar, die durch die Einteilung in Anschlußbereiche in eine Anzahl Teilmatrizen unterteilt wird. Zur rechnerischen Erfassung müssen die Anschlußbereichsgrenzen in numerischer Form vorgegeben sein. Das ist durch zwei Begrenzungstabellen je Anschlußbereich (Bild 12) möglich, von denen die eine zeilenweise den linken und rechten Rand, die andere spaltenweise den oberen und unteren Rand mit Hilfe der Bezeichnung der Grenzquadrate beschreibt. Aus programmtechnischen Gründen darf die Anschlußbereichsgrenze je Zeile und je Spalte nur

m	n_{min} n_{max}
1	04 - 13
2	04 - 14
3	03 - 16
4	01 - 16
5	01 - 16
6	03 - 16
7	05 - 16
8	06 - 14
	99 - 99

n	m_{min} m_{max}
1	04 - 05
2	04 - 05
3	03 - 06
4	01 - 06
5	01 - 07
6	01 - 08
7	01 - 08
8	01 - 08
9	01 - 08
10	01 - 08
11	01 - 08
12	01 - 08
13	01 - 08
14	02 - 08
15	03 - 06
16	03 - 06
	99 - 99

Bild 12.
Begrenzungstabellen für einen Anschlußbereich

einmal unterbrochen sein. Als Unterlage für die Erfassung des Datenguts erhält das Rechenzentrum zweckmäßig den Dichteplan in einem Format, das die eindeutige Lesbarkeit der Doppelader-Zahlen gewährleistet und dazu für die verschiedenen Lösungen verkleinerte Dichtepläne, die die geplanten Anschlußbereichsgrenzen zweifelsfrei erkennen lassen müssen.

Bild 13 zeigt ein Blockdiagramm, aus dem der Gang der Berechnungen hervorgeht [20]. Danach sind vier Abschnitte im Programm zu unterscheiden:

1. Im ersten Abschnitt werden die folgenden Rechenoperationen vorbereitet und die Ausgangsdaten der Dichtematrix eingelesen.
2. Der zweite Abschnitt bringt die Berechnung der Spalten- und Zeilensummen des Dichteplanes sowie der auflaufenden Summen dieser Spalten- und Zeilensummen in aufsteigender und in absteigender Zählrichtung für jeden Anschlußbereich. Welche Elemente der Gesamtmatrix je Spalte und Zeile bei der einzelnen Teilmatrix zu erfassen sind, ergibt sich aus der vorher eingegebenen Begrenzungstabelle. Für jede Spalte bzw. für jede Zeile wird aus der Begrenzungstabelle entnommen, mit welchen Quadraten die betreffende Spalte oder Zeile bei dem betrachteten Anschlußbereich beginnt und endet. Dann werden die Spalten- oder Zeilensummen der entsprechenden Dichtewerte

$$s_n = \sum_{m=m_{min}}^{m=m_{max}} d_{nm} \qquad \left(s_m = \sum_{n=n_{min}}^{n=n_{max}} d_{mn} \right)$$

und die auflaufenden Zwischensummen aller bisher erfaßten Spalten oder Zeilen

$$S_n = \sum_{\nu=1}^{n} s_\nu \qquad \left(S_m = \sum_{\mu=1}^{m} s_\mu \right)$$

berechnet. Die Endsummen Z_1 und Z_2 müssen gleich sein und geben

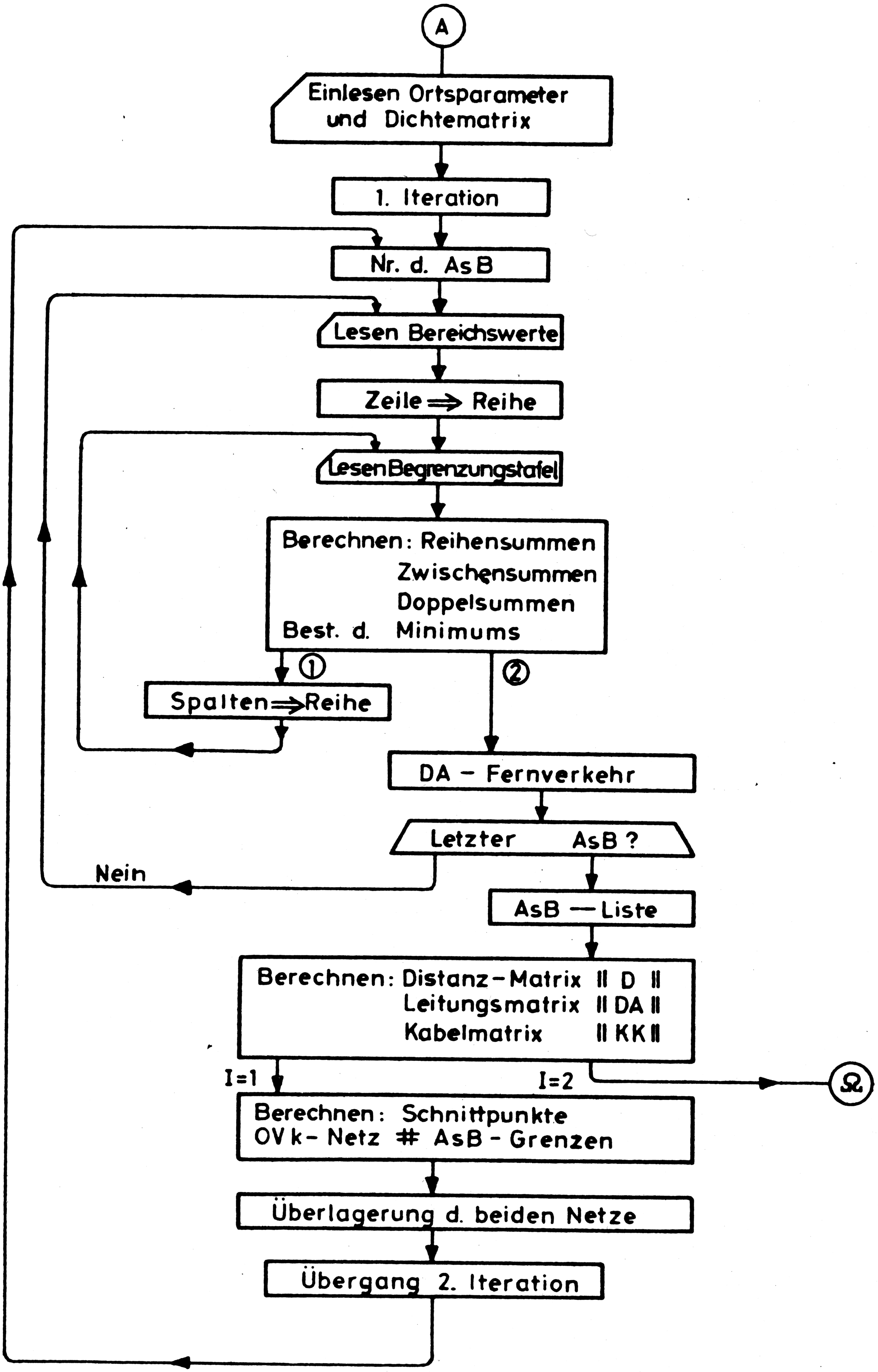

A
Einlesen Ortsparameter und Dichtematrix
1. Iteration
Nr. d. AsB
Lesen Bereichswerte
Zeile ⇒ Reihe
Lesen Begrenzungstafel
Berechnen: Reihensummen
Zwischensummen
Doppelsummen
Best. d. Minimums
①
②
Spalten ⇒ Reihe
DA – Fernverkehr
Letzter AsB ?
Nein
AsB — Liste
Berechnen: Distanz-Matrix ‖ D ‖
Leitungsmatrix ‖ DA ‖
Kabelmatrix ‖ KK ‖
I=1
I=2
Ω
Berechnen: Schnittpunkte
OVk-Netz # AsB-Grenzen
Überlagerung d. beiden Netze
Übergang 2. Iteration

Bild 13. Blockdiagramm

die Gesamtzahl aller innerhalb des Anschlußbereiches liegenden Leitungsquellen an, also

$$Z_1 = Z_2 = Z .$$

Nach dem oben Gesagten liegen die Koordinaten des optimalen Netzknotenpunktes in x- und y-Richtung bei Z/2. Für diesen Fall ist der erforderliche Leitungsaufwand am geringsten. Es läßt sich leicht errechnen, welcher Mehraufwand entsteht, wenn die Vermittlungsstelle außerhalb des optimalen Netzknotenpunktes liegt.

3. Im dritten Programmabschnitt wird das Ortsverbindungsleitungsnetz berechnet. Dabei wird zunächst ein vollkommenes Maschennetz zwischen allen Vermittlungsstellen angenommen. Die Länge der Kabelstrecke zwischen zwei Vermittlungsstellen ist durch die Summe der Entfernungen längs der beiden Koordinatenachsen — gemessen in Einheiten der Gitterfeldbreite — gegeben. Die Berechnung aller vorkommenden Fälle führt auf eine Dreiecksmatrix für die Entfernungen zwischen den Vermittlungsstellen. Die Zahl der für die einzelnen Verkehrsbeziehungen erforderlichen Leitungen ist von dem zu erwartenden Verkehr abhängig, der seinerseits der Zahl der Verkehrsquellen in beiden beteiligten Anschlußbereichen proportional ist. Da die Ortsverbindungsleitungen in der Regel dreiadrig geführt werden, müssen die Leitungszahlen mit dem Faktor 3/2 multipliziert werden, um die erforderliche Zahl von Doppeladern zu erhalten. Die so berechneten Doppeladern-Zahlen können wieder als Dreiecksmatrix geschrieben werden, die mit der Entfernungsmatrix elementweise multipliziert den Aufwand an Doppeladern-km im ganzen Ortsverbindungsleitungsnetz ergibt, wenn man die Gitterbreite durch Multiplikation aller Glieder mit einem entsprechenden Faktor berücksichtigt. Da im Ortsverbindungsleitungsnetz mit Rücksicht auf die Widerstands- und Dämpfungsbedingungen verschiedene Leiterdicken sowie bespulte und unbespulte Leitungen verwendet werden, gehen die spezifischen Leitungskosten durch Multiplikation der Doppeladern-km-Zahlen mit Kostenfaktoren in die Rechnung ein.

4. Der letzte Programmabschnitt enthält die Berücksichtigung des Ortsverbindungsleitungsnetzes bei der Ermittlung der optimalen Netzknotenpunkte in zweiter Näherung. Hierfür muß der Verlauf der Ortsverbindungskabel im Gitternetz untersucht werden, wobei zur Vereinfachung geradlinige Führung zwischen den Vermittlungsstellen angenommen wird. Außerdem wird vorausgesetzt, daß alle Ortsvermittlungsstellen untereinander und mit der Fernvermittlungsstelle durch Leitungsbündel verbunden sind. Nachdem die Gleichung der Geraden aufgestellt wurde, die die Verbindung zweier Vermittlungsstellen darstellt, ermittelt das Programm die beiden Gitterfelder, die vor und hinter der Anschlußbereichsgrenze liegen. In diese wird die mit dem entsprechenden Kostenfaktor gewogene Anzahl Doppeladern des in Frage kommenden Ortsverbindungsleitungsbündels eingeschrieben. Die Behandlung der bei vorstehenden Ermittlungen möglicherweise vorkommenden „Sonderfälle“ ist in das Programm eingearbeitet, z. B. der Fall, daß ein Ortsverbindungsleitungsbündel einen Anschlußbereich nur „durchläuft“ und nicht in der Vermittlungsstelle dieses Bereiches endet.

Durch den Rechenprozeß des vierten Programmabschnittes entsteht eine Matrix, bei der die für die Ortsverbindungsleitungen erforderlichen relativen Doppeladern-Zahlen je zwei Gitterfeldern als Quellpunkte zugeordnet werden. Wenn man diese Matrix der Grundmatrix des Dichteplanes überlagert und die Bestimmung der optimalen Netzknotenpunkte wiederholt, so erhält man die Lage der optimalen Netzknotenpunkte „in zweiter Näherung".

Die Rechnungen zur Ortsnetzplanung werden künftig auf Datenverarbeitungsanlagen des FTZ durchgeführt, bei denen eine reine Rechenzeit von nur 2 Minuten je Vorschlag erforderlich ist.

Für das Ortsverbindungsleitungsnetz wird vollständige Vermaschung zwischen allen Ortsvermittlungsstellen angenommen. Tatsächlich entspricht dies aber nicht den Gegebenheiten größerer Ortsnetze. Um die wirklichen Verhältnisse, die durch das Einplanen von Gruppen-Vermittlungsstellen einerseits und Teil-Vermittlungsstellen andererseits neben den Voll-Vermittlungsstellen entstehen, zu berücksichtigen, könnte man das Rechenprogramm ändern, indem man die Vermittlungsstellen in der Entfernungsmatrix sinngemäß ordnet und die den wegfallenden Maschenverbindungen entsprechenden Elemente gleich Null setzt. Dabei spielt bei Teil-Vermittlungsstellen noch die Frage, ob es sich um solche mit oder ohne Umsteuerung handelt, eine Rolle, weil im zweiten Fall der gesamte Innenverkehr der Teil-Vermittlungsstelle über die zugehörige Voll-Vermittlungsstelle läuft.

Über ähnliche mit Hilfe von Datenverarbeitungsanlagen durchgeführte Berechnungen zur Entwicklungsplanung von Ortsnetzen berichtet Y. Rapp [17, 18]. Nach H. S. Edwards und H. Z. Hardaway [5] wurden bei den Bell-Telephongesellschaften Rechenprogramme entwickelt, die bei Netzplanungen den Planungsingenieuren die für die Ermittlung der optimalen Lösung notwendigen umfangreichen Rechenarbeiten abnehmen sollen. Dabei können unterschiedliche Wachstumsraten in verschiedenen Teilen des Netzes ebenso berücksichtigt werden wie die Frage des Einsatzes von Wählstern- und Trägerfrequenzeinrichtungen anstelle neuer Kabel. Die Frage, wo und wann neue Vermittlungsstellen einzurichten sind, wird ebenfalls mit Hilfe eines Rechenprogrammes untersucht. Besonderer Wert wird auf die Abstimmung der Planungen für netztechnische und vermittlungstechnische Einrichtungen gelegt, um wirtschaftlich optimale Lösungen für die Gesamtanlage zu gewährleisten. Die Auswahl der wirtschaftlichsten Lösung aus verschiedenen Vorschlägen für eine bestimmte Ausbauplanung mit Hilfe eines Rechenprogrammes behandelt R. W. Amory [1], wobei die Kabelstrecken in Abschnitte eingeteilt sind und das Programm bis zu 99 Abschnitte behandeln kann.

2. Simulationsuntersuchungen

Außer zur Entscheidung in Planungsfragen in Einzelfällen durch Vergleichsrechnung kann die Datenverarbeitungstechnik auf dem Gebiet der Ortsnetzplanung zur Untersuchung allgemeiner Probleme durch Simulationsrechnung herangezogen werden.

Im vorstehenden Abschnitt ging es um das Problem, für ein bestimmtes Ortsnetz aus einer gegebenen Zahl von Lösungen für die Aufteilung des Ortsnetzbereiches in Anschlußbereiche die günstigste zu ermitteln. Es kann aber ganz allgemein die Frage interessieren, in wieviele Anschlußbereiche ein Ortsnetz zweckmäßig einzuteilen ist. Hierzu hat de Boer [3] über Untersuchungen berichtet, bei denen vereinfachende Bedingungen zugrunde gelegt wurden. Zur allgemeinen Klärung dieser Frage sind Simulationsuntersuchungen an einem Ortsnetzmodell durchzuführen [14]. Dabei kann man das Netzmodell mit orthogonaler Leitungsführung zugrunde legen, für das eine quadratische Grundfläche vorausgesetzt wird, die in quadratische Gitterfelder unterteilt ist. Es wird angenommen, daß sich die Leitungsdichte von ihrem Maximalwert im zentralen Gitterfeld zum Rande des Ortsnetzbereiches hin nach einem bestimmten Verteilungsgesetz verringert. Dabei spielt jedoch die Struktur des Ortsnetzes eine Rolle, was durch entsprechende Variationen in der Untersuchung berücksichtigt werden muß. Der zentrale Dichtewert kann verschieden groß sein, muß also in der Rechnung auch variiert werden. Wenn man zunächst davon ausgeht, daß der Ortsnetzbereich in gleich große Anschlußbereiche eingeteilt wird, so kommen 4, 9, 16, 25, 36, 49, 64, 81 und 100 Bereiche in Frage. Da die geschätzten künftigen Dichtezahlen nur Mittelwerte für größere Flächeneinheiten sind, werden die tatsächlich eintretenden Abweichungen von diesen Zahlen durch Simulation mit vorliegenden normalverteilten Zufallszahlen nachgebildet. Zu berechnen sind die Lösungen mit den geringsten Kosten in Abhängigkeit von der Ortsnetzgröße, der Leitungsdichte, der Zahl der Anschlußbereiche und der Struktur des Ortsnetzes. Eine derartige Untersuchung erfordert eine Vielzahl von Rechenoperationen und kann nur auf einer schnell arbeitenden Rechenanlage durchgeführt werden.

Ein anderes Problem, das mit Hilfe von Simulationsuntersuchungen geklärt wurde, ist die Frage, inwieweit der Ausnutzungsgrad von Endeinrichtungen durch Ausgleichschaltungen erhöht wird. Man versteht unter einer Ausgleichschaltung die Verkettung von Endeinrichtungen mit Hilfe von Ausgleichleitungen zu einer Ausgleichgruppe derart, daß alle Endeinrichtungen der Gruppe über ein gemeinsames Leitungsbündel mit der Vermittlungsstelle verbunden sind. Das Institut für Praktische Mathematik der Technischen Hochschule Darmstadt hat auf Veranlassung des Fernmeldetechnischen Zentralamts einen Forschungsauftrag bearbeitet, der

1. das Aufstellen und Prüfen eines Rechenprogramms zur Ermittlung des Ausnutzungsgrades von Ausgleichschaltungen durch Simulation mit poissonverteilten Zufallszahlen und
2. die Anwendung dieses Programms auf bestimmte, in der Fernmeldebauordnung Teil 1 dargestellte Fälle von Ausgleichschaltungen

umfaßt [15]. Die Ergebnisse gelten auch für Endeinrichtungen, die statt durch Ausgleichschaltung durch Vielfachschaltung verkettet sind, da das statistische Verhalten in beiden Fällen gleich ist. Die Zunahme der Belegung von Endeinrichtungen unterliegt einem Zufallsprozeß, der dadurch nachgebildet werden kann, daß man die dem vorgesehenen Ausnutzungsgrad und der Beschaltbarkeit entsprechende Bedarfszahl mit Hilfe von poissonverteilten Zufallszahlen variiert. Auf diese Weise wurde zunächst die Anzahl der Anmeldungen je Endeinrichtung bestimmt. Wenn die auf eine Endeinrichtung oder auf eine Ausgleichgruppe entfallende Zahl von Anmeldungen die Beschaltbarkeit der Endeinrichtungen bzw. der ganzen Ausgleichgruppe überschritt, wurden die nicht zu befriedigenden Anmeldungen auf eine Warteliste gesetzt. Es wurden 7 Ausgleichgruppen mit 2 bis 7 Endeinrichtungen untersucht, und zwar bei Ausnutzungsgraden von A = 1,0; 0,8; 0,6 und Ausbaugraden G = 1/r = 0; 0,5; 0,67, wobei r das Ausbauverhältnis am Ende des Planungszeitraumes darstellt. Die Beschaltbarkeit N hängt vom Aufbau der Ausgleichgruppe ab. Für alle Fälle wurde der Vollbelegungsverlust v = s/N berechnet. Dabei ist s die

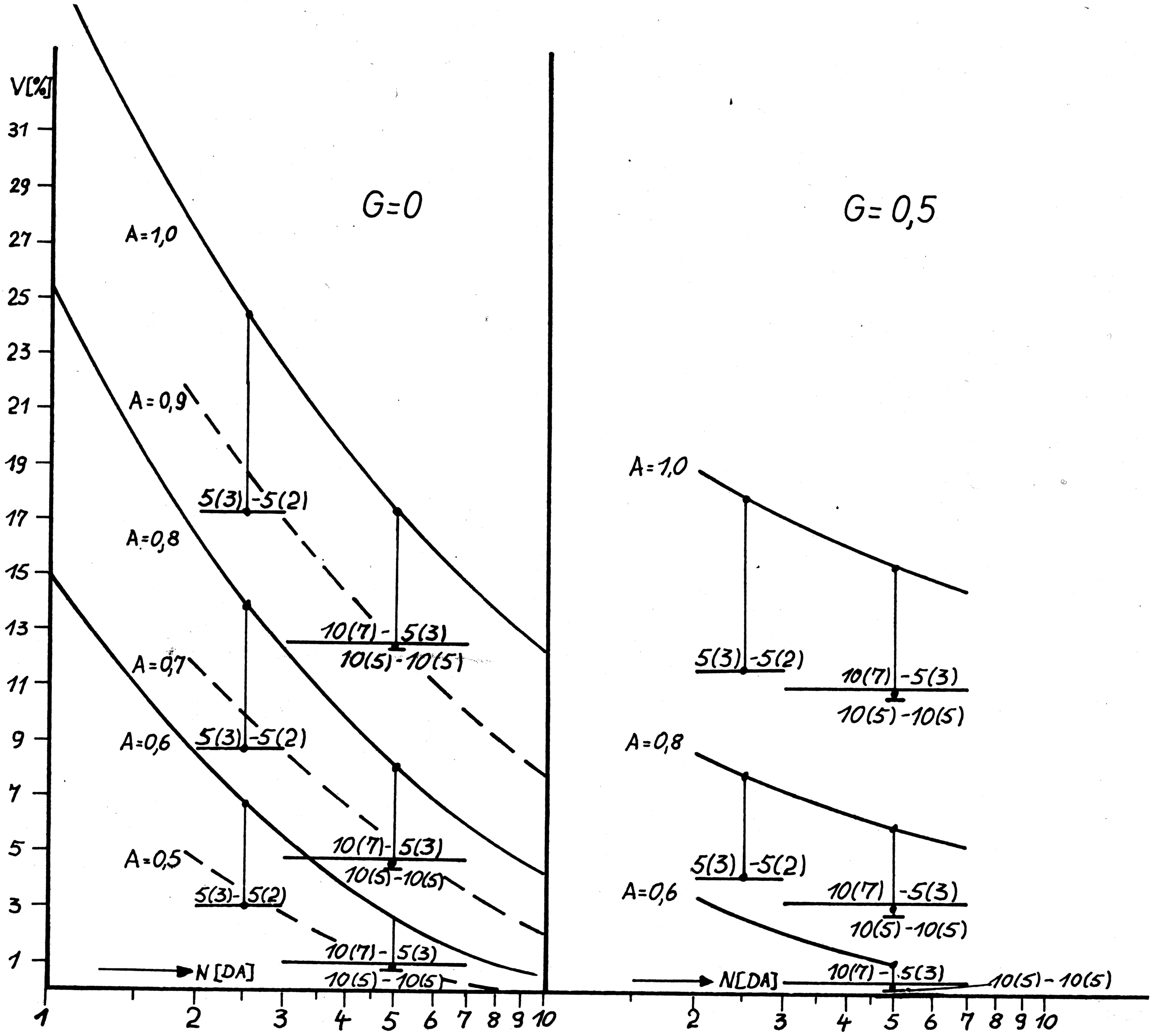


Bild 14. Vollbelegungsverluste V von Ausgleichgruppen zweier Endeinrichtungen im Vergleich zu gleich großen unverketteten Endeinrichtungen

Zahl der Anmeldungen auf der Warteliste. Nach 900 Durchläufen (bei den Ausgleichgruppen mit 5 bis 7 Endeinrichtungen nach 4500) wurde der Vollbelegungsverlust durch Division der durchschnittlichen Länge der gesamten Warteliste durch die gesamte Beschaltbarkeit berechnet, und diese Berechnung nach jeweils 100 weiteren Durchläufen wiederholt. Sobald der Vergleich mit der vorhergehenden Rechnung eine Abweichung von weniger als 2 v. H. ergab, konnte die Simulation abgebrochen werden. In den Bildern 14 und 15 ist das Ergebnis der Untersuchungen graphisch dargestellt. Sie zeigen den Vollbelegungsverlust für die verschiedenen Ausgleichschaltungen in Abhängigkeit vom Ausnutzungsgrad (A) und von der Beschaltbarkeit (N) und lassen erkennen, daß die Vollbelegungsverluste durch die Verkettung der Endeinrichtungen wesentlich gesenkt werden.

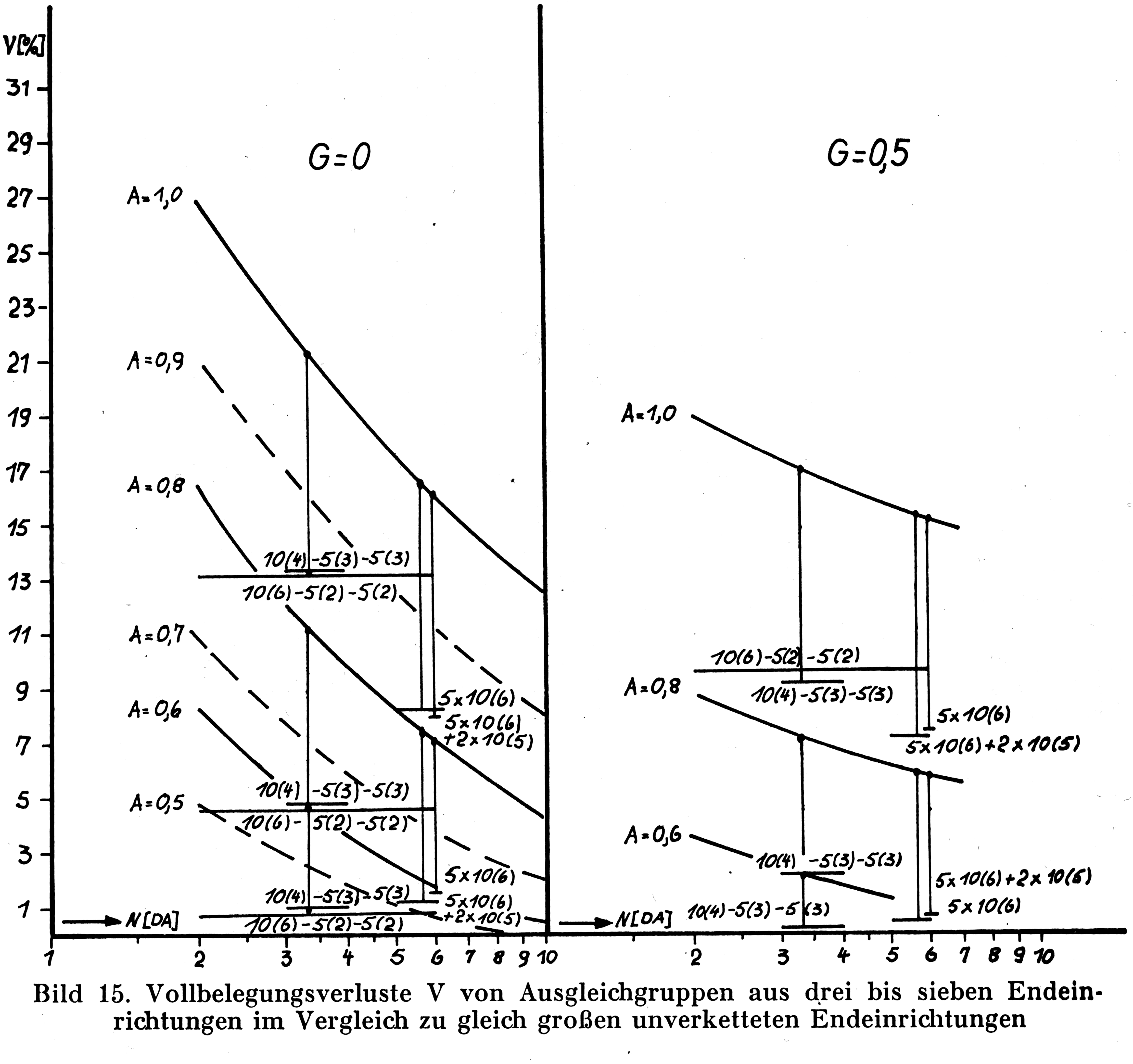


Bild 15. Vollbelegungsverluste V von Ausgleichgruppen aus drei bis sieben Endeinrichtungen im Vergleich zu gleich großen unverketteten Endeinrichtungen

VIII. Ausblick

Mit dem bisherigen Einsatz der Datenverarbeitungstechnik im Fernmeldebau sind ihre Anwendungsmöglichkeiten keineswegs erschöpft. Die Entwicklung wird auf weiteren Gebieten eine Vereinfachung und Beschleunigung der Büroarbeit und des Berichtswesens bringen. Die Einbeziehung weiterer Arbeitsgebiete in die elektronische Datenverarbeitung wird allerdings von deren Weiterentwicklung selbst wesentlich abhängen. So könnte die Ausrüstung aller Fernmeldeämter mit Dateneingabeplätzen sowohl das Verfahren bei solchen Arbeitsgebieten, die bereits von der Datenverarbeitung Gebrauch machen, verändern, als auch zur Anwendung der elektronischen Datenverarbeitung auf weiteren Arbeitsgebieten führen.

Ein interessantes Beispiel für mögliche künftige Entwicklungen zeigt H. Kremer mit seinem Vorschlag zur „Bauvorbereitung und Bauüberwachung in der Linientechnik mit EDV-Anlagen“ [16]. Dabei geht es darum, die schematisierbaren Arbeiten beim Aufstellen von Bauanschlägen für größere Erd- und Röhrenkabel-Bauvorhaben durch Datenverarbeitungs-Anlagen ausführen zu lassen. Die gesamte Kabelstrecke wird durch die Spleißstellen und die Abschlußeinrichtungen am Anfang und Ende in Abschnitte unterteilt, die dadurch bezeichnet werden können, daß die Spleißstellen und Abschlußeinrichtungen Kennummern erhalten. Beim Wechsel der Bodenklassen oder Wegeoberflächen müssen die Abschnitte in Unterabschnitte aufgeteilt werden. Auf diese Weise läßt sich eine eindeutige Beziehung zwischen dem Ausbaunetzplan und dem Planungsaufmaß herstellen, so daß die Angaben aus beiden Unterlagen für jeden Abschnitt eindeutig in Lochbelege aufgenommen werden können. Die Daten aus dem Aufmaß für die einzelnen Abschnitte und Unterabschnitte sind durch das Rechenprogramm über mehrere Zuordnungsmatrizen mit vorgegebenen — gespeicherten — Daten (z. B. Verrechnungspreise für Fernmeldebauzeug, Kosten für bestimmte Auftragnehmerarbeiten, Arbeitszeiten für den Einsatz eigener Kräfte) in Verbindung zu bringen. Da die elektronische Datenverarbeitung bereits im Beschaffungswesen und in der Lagerwirtschaft eingesetzt ist [19], bestehen für das Fernmeldezeug und die im Zusammenhang mit der Beschaffung erforderlichen Daten schon die notwendigen Verschlüsselungen. Die Datenverarbeitungsanlage hätte den Bauanschlag mit den Bestellisten und mit dem für die Ausschreibung erforderlichen Leistungsverzeichnis zu liefern, u. U. auch für die Kabelbestellungen unmittelbar Bestellochkarten auszugeben. Mit Hilfe eines Druckprogrammes wären umfangreiche Listen in Klartext auszudrucken.

Ein anderes Gebiet, auf dem der Einsatz der Datenverarbeitungstechnik interessant werden könnte, ist die Beschaltung des Anschlußleitungsnetzes in großen Ortsnetzen. Es wäre denkbar, daß eine Datenverarbeitungsanlage auf Grund eingespeicherter Daten über das Leitungsnetz der anfragenden Anmeldestelle für Fernmeldeeinrichtungen die Auskunft gibt, ob eine bestimmte Leitung schaltbar ist (ja oder nein). Wenn „ja“, könnte sie gleichzeitig einen Schaltauftrag mit der günstigsten Leitungsführung ausschreiben, wenn „nein“, eine Bedarfsanzeige mit Darstellung des Engpasses fertigen.

Bei allen Überlegungen, die im Zusammenhang mit dem Einsatz von Rechenanlagen auf verschiedenen Arbeitsgebieten der Deutschen

Bundespost angestellt werden, sollte man immer im Auge behalten, daß die Möglichkeit zum Zusammenführen und Ineinanderarbeiten von Daten aus verschiedenen Datenkreisen gegeben sein muß, um eine integrierte Datenverarbeitung verwirklichen zu können. Das ist eine Voraussetzung dafür, für die Bereiche der Ortsnetze oder Knotenvermittlungsstellen alle Aufwendungen für das Leitungsnetz und die technischen Einrichtungen der Vermittlungs- und Übertragungstechnik zu erfassen, um ihnen beispielsweise die in den einzelnen Bereichen entstehenden Erlöse gegenüberzustellen oder Relationen zu anderen Daten zu bilden.

IX. Schrifttum

1. R. Amory: Engineering outside plant with computers. Bell Laboratories Record, Juli/August 1963, S. 258.
2. H. Anselmann: Ermitteln von Anschaffungskosten für Teile von Ortsnetzanlagen. Fernmelde-Praxis 1964, Heft 3, S. 93.
3. I. de Boer: Quelques Aspects Economiques de la Structure des Réseaux Téléphoniques Locaux. FITCE-Revue 1965, Heft 1, S. 31.
4. G. Brandtner: Moderne Datenverarbeitung bei der Deutschen Bundespost. Jahrbuch des Postwesens 1964, S. 124.
5. H. S. Edwards and H. Z. Hardaway: New concepts in exchange outside plant engineering. The Bell System Technical Journal 1965, S. 373.
6. A. Försterling: Prüfverfahren bei der elektronischen Datenverarbeitung. Zeitschrift für das Post- und Fernmeldewesen 1964, Heft 6, S. 191.
7. H. Försterling: Elektronische Datenverarbeitung bei der DBP. Fernmelde-Praxis 1964, Heft 14, S. 533.
8. H. Försterling: Erfassen von Daten für die Datenverarbeitung. Fernmelde-Praxis 1965, Heft 17, S. 649.
9. H. Försterling: Der Einfluß neuer Techniken auf die Organisation der Datenverarbeitung. Zeitschrift für das Post- und Fernmeldewesen 1966, Heft 16, S. 571.
10. H. Grundmann: Elektronische Datenverarbeitung und Nummerungstechnik. Zeitschrift für das Post- und Fernmeldewesen 1965, Heft 21, S. 810.
11. A. Hutz: Die Bedeutung des Leitungsmastes aus Holz für die Linientechnik. Fernmelde-Praxis 1966, Heft 10, S. 391.
12. H. Kremer: Elektronische Rechenautomaten zur Entwicklungsplanung von Ortsnetzen. Zeitschrift für das Post- und Fernmeldewesen 1962, Heft 15, S. 575.
13. H. Kremer: Ortsnetzplanung. Fachverlag Schiele und Schön, Berlin 1963.
14. H. Kremer: Simulationsuntersuchungen zur optimalen Größe von Fernmelde-Anschlußbereichen. Zeitschrift für das Post- und Fernmeldewesen 1963, Heft 15, S. 582.
15. H. Kremer und H. Müller-Merbach: Simulationsuntersuchungen zum Ausnutzungsgrad von verketteten Endeinrichtungen. Frequenz 1964, Heft 11, S. 352.
16. H. Kremer: Bauvorbereitung und Bauüberwachung in der Linientechnik mit EDV-Anlagen. Zeitschrift für das Post- und Fernmeldewesen 1966, Heft 18, S. 686.
17. Y. Rapp: Planung von Fernsprechnetzen mit mehreren Ämtern mittels der Datenverarbeitungsmaschine. Ericsson Review 1962, Heft 2, S. 44 und Heft 4, S. 102.
18. Y. Rapp: Planning of junction networks in multiexchange areas. Ericsson Technics 1964, S. 77 und 1965, S. 187.
19. R. Reinecke: Anwendung der Datenverarbeitungstechnik im Beschaffungswesen und in der Lagerwirtschaft des Fernmeldewesens der Deutschen Bundespost. Jahrbuch des elektrischen Fernmeldewesens 1966, S. 239.
20. E. Theissen: Rechenplan und Rechenprogramm für die numerische Berechnung bei der Planung von Ortsnetzen auf einem elektronischen Rechenautomaten. Technischer Bericht des FTZ Nr. 5304 vom 1. 12. 1960.
21. E. Unger: Elektronische Datenverarbeitung in der Linientechnik bei der Deutschen Bundespost. Fernmelde-Praxis 1965, Heft 7, S. 241.
22. Fernmeldebauordnung der Deutschen Bundespost Teil 1 „Ortsnetzplanung“.
23. Fernmeldebauordnung der Deutschen Bundespost Teil 19 „Ortsnetzpläne und -karteien“.

Werner Endres

Probleme der Analyse und Synthese von Sprache durch Automaten

A. Sprachanalyse und automatische Spracherkennung
  I. Einleitung
  II. Aufbau und Struktur der Sprache
  III. Das Erkennungsproblem
  IV. Methoden der Spracherkennung
    1. Der Sprachvorgang als akustisches Ereignis
      a) Die akustische Erkennungshierarchie
      b) Akustische Merkmale der Sprechlaute
      c) Beschreibung einiger neuartiger Erkennungsverfahren
      d) Beurteilung der bisher vorliegenden Ergebnisse
    2. Der Sprachvorgang als linguistisches Ereignis
B. Sprachsynthese
  I. Vorbemerkungen und Begriffsbestimmungen
  II. Methoden der Sprachsynthese
    1. Synthese durch Nachbildung des menschlichen Stimmbildungssystems
    2. Synthese durch Nachbildung der Sprachspektren
    3. Synthese durch Verwendung von „Sprachbausteinen"
  III. Sprachgesteuerte Synthese
    1. Der spracherregte Vocoder
    2. Der Autokorrelations-Vocoder
C. Zusammenfassung und Ausblick
D. Schrifttum
  I. Bücher und zusammenfassende Berichte
  II. Einzelveröffentlichungen

A. Sprachanalyse und automatische Spracherkennung

I. Einleitung

Am 26. Oktober 1861 hielt Johann Philipp Reis vor dem „Physikalischen Verein zu Frankfurt am Main" einen Experimentalvortrag mit dem Thema „Über Telephonie durch den galvanischen Strom" 1). Er erbrachte darin den Nachweis, daß es möglich ist, Sprache und Musik auf einem anderen als dem üblichen Weg — nämlich nach Umwandlung der Schallschwingungen in entsprechende (damals noch sehr stark verzerrte) elektrische Schwingungen über einen Draht zu übertragen. Philipp Reis verfolgte mit seinen Experimenten nach seinen eigenen Worten nur das Ziel, ein Verfahren zu finden, mit dessen Hilfe es möglich ist, „Tonsprache selbst direct in die Ferne mitzutheilen", also Sprache (und Musik) über Entfernungen zu übertragen, die größer als die akustische Reichweite sind. Über die Sprache als besonderer Erscheinungsform des Schalles stellte er jedoch keine Untersuchungen an. Es genügte ihm zu wissen, daß es sich zumindest bei

---

1) Abgedruckt in der Nachrichtentechn. Z., 14 (1961), H. 9, S. 425—428.

den Vokalen um Schwingungsvorgänge handelt, die physikalisch denen eines Klanges ähnlich sind.

In den hundert Jahren, die seit diesem denkwürdigen Vortrag vergangen sind, ist die Erfindung weitgehend vervollkommnet worden, ohne daß man von ihrem Grundgedanken — der Übertragung einer der Schallschwingung analogen elektrischen Schwingung — abgewichen wäre. Trotz des hohen Standes der Technik ist die Aufgabe, Sprache zu übertragen, in speziellen Fällen noch nicht befriedigend gelöst (z. B. in wirtschaftlicher Hinsicht bei der Transozeantelephonie oder in technischer Hinsicht bei der Sprachübertragung zu Weltraumschiffen). Neue Möglichkeiten eröffnen sich hier, wenn es gelingt, Sprache automatisch zu analysieren, zu erkennen und zu synthetisieren. Um auf diesem Gebiete Fortschritte zu erzielen, ist es jedoch notwendig, sich mit der Sprache selbst eingehend zu beschäftigen.

Während des 2. Weltkrieges sind in den Vereinigten Staaten von Amerika (und unabhängig davon auch in der UdSSR) zwei mathematisch orientierte Theorien — die Informationstheorie und die Kybernetik — entwickelt worden, die sich seit ihrer Publizierung in den Jahren 1948 bzw. 1949 in einmaliger Weise auf die verschiedensten Gebiete der Wissenschaft und Wirtschaft auswirken. Seit dieser Zeit gewinnen Aufgaben der Nachrichtenverarbeitung mehr und mehr an Bedeutung, wobei zwei große Fragenkomplexe von besonderem Interesse sind:

1. In welcher Weise und nach welchen Gesetzmäßigkeiten werden Nachrichten von lebenden Organismen verarbeitet?
2. Ist es möglich, nach Kenntnis dieser Gesetzmäßigkeiten Maschinen zu konstruieren, die in der Lage sind, in der gleichen Weise Nachrichten zu verarbeiten, wie es die lebenden Organismen tun?

In Zusammenhang mit den Problemen der Sprachübertragung erhebt sich insbesondere die Frage: Ist es möglich, Maschinen zu konstruieren, die in der Lage sind, menschliche Sprache automatisch zu erkennen und zu erzeugen? Die Lösung dieser Teilprobleme, an der z. Z. in vielen Kulturländern der Welt gearbeitet wird, ist außer für Zwecke der Sprachübertragung auch für viele andere Zwecke der Nachrichtentechnik von großer Bedeutung. Im einzelnen könnte man Geräte zur automatischen Spracherkennung in folgenden Fällen einsetzen:

a) Steuerung von Rechenanlagen durch Sprache
b) Automatische Nummernwahl bei Fernsprechvermittlungsstellen
c) Direkte Umwandlung eines gesprochenen Textes in einen geschriebenen (evtl. in phonetischer Schreibweise) und
d) Sprachübertragung über Kanäle geringerer Bandbreite (in der sog. Analysis-Synthesis-Telephonie) nach geeigneter Umcodierung.

Außer dem Spracherkennungsgerät muß im letztgenannten Fall auch ein Gerät zur Verfügung stehen, das die codierten Sprachsignale wieder in verständliche Sprache umwandelt. Darüber hinaus könnte eine mit Hilfe eines derartigen Gerätes erzeugte synthetische Sprache in folgenden Fällen verwendet werden:

e) Automatische Sprachübertragung
f) Abruf von Lagerbestandsangaben (z. B. in Versandgeschäften mit Hilfe des Nummernschalters des Fernsprechapparates)
g) Linguistisch-phonetische Forschung.

In welchem Umfang an der Lösung dieser Probleme gearbeitet wird, zeigt eine von K. Otten [10] zusammengestellte Bibliographie, in der über 1000 wissenschaftliche Arbeiten erfaßt sind. Mit wenigen Ausnahmen wurden diese Arbeiten erst nach Beendigung des zweiten Weltkrieges veröffentlicht. In dem vorliegenden Beitrag soll zusammenfassend zu den bedeutsamsten dieser Arbeiten kritisch Stellung genommen und aufgezeigt werden, welche Schwierigkeiten sich auch heute noch der Lösung dieser Probleme entgegenstellen. Zuvor aber sollen einige Betrachtungen über die Sprache selbst angestellt werden.

II. Aufbau und Struktur der Sprache

Der Begriff „Sprache“ kommt in zahlreichen Wortkombinationen vor, etwa in „Zeichensprache“, „Gebärdensprache“, „Lautsprache“ oder in „Umgangssprache“, „Muttersprache“, „Kultursprache“, „Fachsprache“, „formalisierte Sprache“ usw. Wenn in diesem Beitrag von „Sprache“ die Rede ist, soll es sich stets um Lautsprache handeln, also um das von Menschen bevorzugt benutzte Kommunikationsmittel, das physikalisch als Schallvorgang in Erscheinung tritt und von Gebärden nur zusätzlich unterstützt wird. Sie ist, entwicklungsgeschichtlich betrachtet, älter als die Schrift, das an die optische Wahrnehmung gebundene zweite und heute gleich bedeutsame Kommunikationsmittel.

Man kann einen bestimmten Sachverhalt sowohl in schriftlicher als auch in sprachlicher Form ausdrücken. Es besteht also eine enge Beziehung zwischen beiden Ausdrucksformen. Die Schrift ist aus einer beschränkten Anzahl von Schriftsymbolen — Buchstaben genannt — aufgebaut, die im Alphabet geordnet zusammengestellt sind. Das Aufbauelement der Lautsprache ist der Laut, in der Sprachwissenschaft im allgemeinen Phonem genannt. Die Lautsprache ist in ihren Mitteln wesentlich reichhaltiger als die Schrift, was schon dadurch zum Ausdruck kommt, daß die Anzahl der Laute erheblich größer ist als die Anzahl der Buchstaben des Alphabets. Zu ihrer Kennzeichnung hat man bestimmte Lautschriftzeichen eingeführt, von denen in Tabelle I die gebräuchlichsten dargestellt sind[2]. Statt der üblichen Einteilung in Selbstlaute (Vokale) und Mitlaute (Konsonanten) ist hier eine Einteilung in zwei Lautgruppen gewählt worden, die den phonetischen Gegebenheiten besser entspricht, nämlich in die der stimmhaften und in die der stimmlosen Laute. Zu den stimmhaften Lauten gehören demnach u. a. auch die Nasallaute und die stimmhaften Explosivlaute, also all die Laute, bei deren Erzeugung die Stimmlippen des Kehlkopfes mitwirken. Die Liste von Tabelle I ließe sich beliebig erweitern, wenn beispielsweise mundartliche Eigenheiten berücksichtigt werden sollten. Die in Tabelle I aufgeführten 44 Phoneme (ohne Berücksichtigung der

---

2) The principles of the International Phonetic Association. Int. Phonet. Assoc., London, 1949.

Tabelle I

Übersicht über die wichtigsten, zur Beschreibung der westeuropäischen Sprachen ausreichenden Phoneme und über die zugehörigen Lautschriftsymbole

Stimmhafte Laute

Vokale

i	wie	deutsch
ɪ	Kitt	deutsch
e	Reh	deutsch
ɛ	Fell	deutsch
æ	had	englisch
a	Kamm	deutsch
ɑ	pâle	franz.
ɔ	Bonn	deutsch
ʌ	cut	englisch
o	Sohn	deutsch
ʊ	Muff	deutsch
u	Ruf	deutsch
ɝ	sir	amerik.
œ	Köln	deutsch
ø	Föhn	deutsch
ʏ	Tüll	deutsch
y	kühl	deutsch
ə	Schule	deutsch

Vokaldyaden (Diphthonge)

ɔy, ɔe	Meute	deutsch
aɪ, ae	sein	deutsch
au, ao	Laus	deutsch
ɔ̆a	moi	franz.
ʊ̆ɛ	fouet	franz.
ɥ̆i	suivre	franz.

Vokalähnliche Laute

m	matt	deutsch
n	nie	deutsch
ɲ	niño	spanisch
ŋ	Ding	deutsch
l	lieb	deutsch
ɫ	call	englisch
r	Roma	italien.
R	rot	deutsch

Reibelaute

v	Wild	deutsch
ð	these	englisch
z	sein	deutsch
ʒ	jamais	franz.

Explosivlaute

b	Ball	deutsch
d	die	deutsch
g	gut	deutsch

Stimmlose Laute

Reibelaute

f	Fisch	deutsch
θ	thank	englisch
s	Faß	deutsch
ʃ	Schuh	deutsch
ç	nicht	deutsch
χ	noch	deutsch
j	ja	deutsch
h	Hut	deutsch

Explosivlaute

p	Paar	deutsch
t	tun	deutsch
k	Kuh	deutsch

Vokaldyaden — der Diphthonge —) reichen jedoch aus, um die westeuropäischen Hochsprachen (einschließlich der charakteristischen Färbungen der amerikanischen Umgangssprache) hinreichend zu beschreiben. Zur Beschreibung des Hochdeutschen genügen bereits 34 Phoneme.

Aus diesen Phonemen läßt sich eine sehr große, aber abschätzbare Menge von Wörtern bilden, die in ihrer Länge von einem Phonem (z. B. in den Ausrufen „oh!" oder „uh!") bis zu etwa 25 Phonemen reichen [3]). Von den theoretisch möglichen und jeweils als Wort bezeichneten Lautkomplexionen sind innerhalb einer Nationalsprache die meisten nicht existent, da sie entweder sprachlich nicht formuliert werden können oder ihnen keine Bedeutung zugeordnet ist. Die Gesamtheit aller gebräuchlichen Wörter bildet den Wortschatz oder das Vokabularium dieser Nationalsprache.

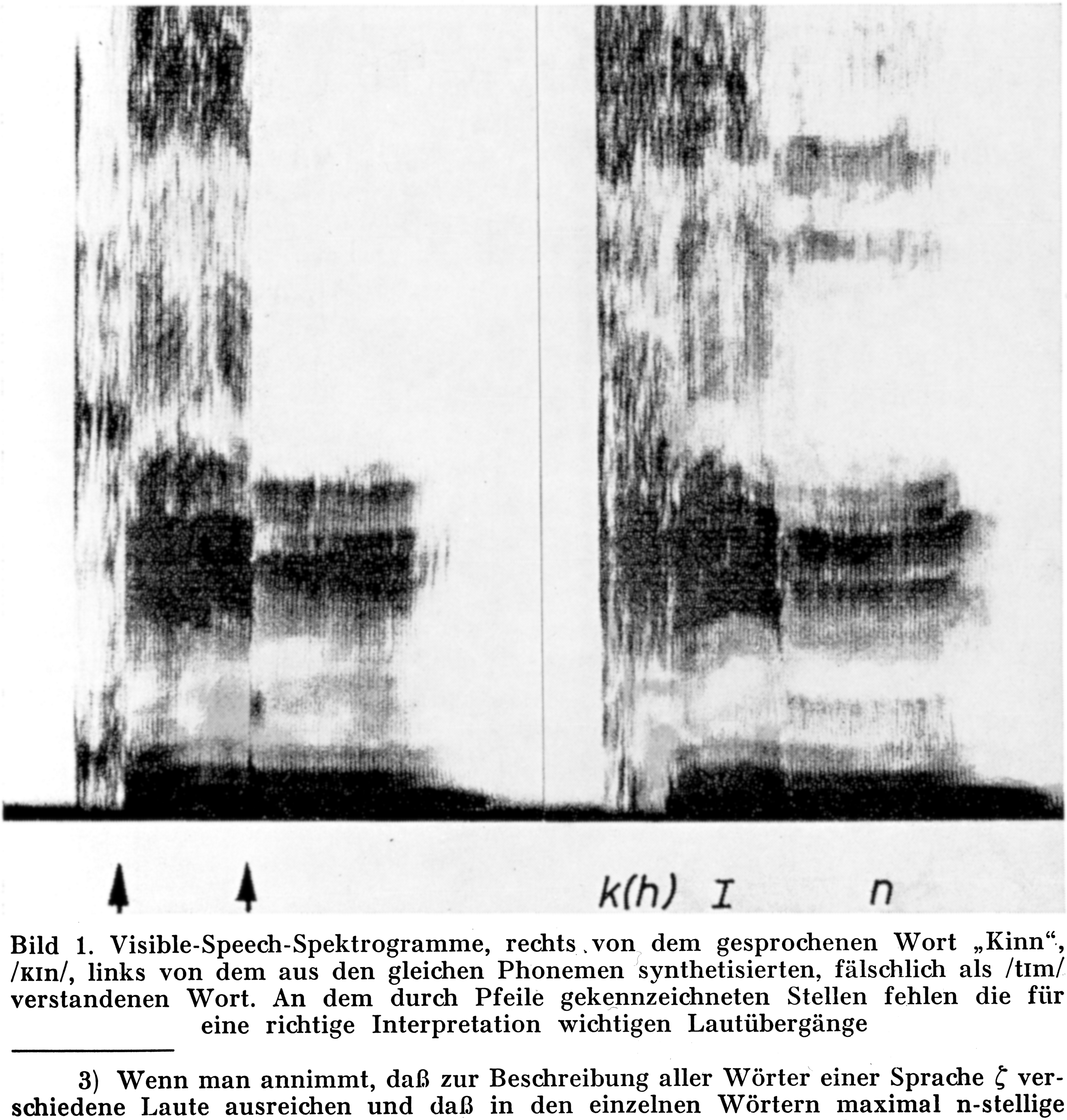


Bild 1. Visible-Speech-Spektrogramme, rechts von dem gesprochenen Wort „Kinn", /kɪn/, links von dem aus den gleichen Phonemen synthetisierten, fälschlich als /tɪm/ verstandenen Wort. An dem durch Pfeile gekennzeichneten Stellen fehlen die für eine richtige Interpretation wichtigen Lautübergänge

---

3) Wenn man annimmt, daß zur Beschreibung aller Wörter einer Sprache ζ verschiedene Laute ausreichen und daß in den einzelnen Wörtern maximal n-stellige Komplexionen vorkommen, so läßt sich nach W. Fucks (nach [3]) der Wortvorrat einer Sprache, der praktisch durch die Länge der längsten Wörter bestimmt ist, näherungsweise berechnen zu $z \approx \zeta^n$.

Die einzelnen Laute werden beim Sprechvorgang infolge der kontinuierlichen Bewegung der Sprechwerkzeuge miteinander verschliffen. Zwischen den Lauten bilden sich Lautübergänge aus, die für die Verständlichkeit wesentlich sind. Zur Demonstration zeigt Bild 1 zwei Zeitfrequenz-Spektrogramme (sog. „visible-speech“-Spektrogramme) 4), im rechten Bildabschnitt das Spektrogramm des von einer männlichen Stimme gesprochenen Wortes „Kinn“, im linken Bildabschnitt ein Spektrogramm, das aus den Teilspektrogrammen der vom gleichen Sprecher gesprochenen Laute /k/ aus „Kuh“, /ɪ/ aus „Tisch“ und /n/ aus „Mohn“ zusammengesetzt ist. Im letztgenannten Beispiel fehlen an den durch Pfeile gekennzeichneten Stellen die Lautübergänge. Ein in dieser Weise aus Einzellauten aufgebautes Wort ist, wie in Abschnitt B noch näher ausgeführt wird, entweder nahezu unverständlich oder wird, wie im vorliegenden Falle, fälschlich als /tɪm/ verstanden.

Während bisher nur vom phonetischen Aufbau der Sprache aus einzelnen Elementen die Rede war, muß nun die linguistische Struktur näher untersucht werden. Sobald Laute zu Gruppen zusammengesetzt werden, beginnen linguistische Aspekte an Bedeutung zu gewinnen. Die kleinste Einheit, die hier zu betrachten ist, ist die Silbe. Aus den Silben werden Wörter gebildet. Die einzelnen Wörter werden schließlich nach bestimmten syntaktischen Regeln miteinander verknüpft und zu Sätzen zusammengestellt.

Innerhalb eines mehrsilbigen Wortes wird mindestens eine Silbe akustisch besonders hervorgehoben (betont). Bei der schriftlichen Wiedergabe bestimmter Wörter müssen zur Vermeidung von Doppeldeutigkeiten die bei der Aussprache besonders zu betonenden Silben oftmals durch Betonungssymbole gekennzeichnet werden, falls die Bedeutung des Wortes nicht aus dem textlichen Zusammenhang erkenntlich ist. So kann z. B. das Wort „modern“ im Sinne von „faulen“ (Betonung auf der ersten Silbe) und auch im Sinne von „neuartig“ (Betonung auf der zweiten Silbe) interpretiert werden. Die Gesamtheit der Betonungseffekte innerhalb eines Satzes einschließlich notwendiger Sprechpausen, die stets von Stimmanhebungen und Stimmsenkungen begleitet werden, legt die sog. Sprachmelodie fest. Sie entscheidet oftmals allein über den Sinn eines Satzes. Zur schriftlichen Fixierung eines Sprachtextes muß man sich daher über die normalen Schriftzeichen hinaus bestimmter Sonderzeichen wie des Frage-, des Ausrufungszeichens oder sonstiger Interpunktionszeichen bedienen.

Die Sprache wird aber erst dadurch zu einem so vielseitigen Ausdrucksmittel, daß der Mensch außerordentlich reiche Möglichkeiten der Sprachgestaltung hat — z. B. durch emotionelle Färbungen oder durch Timbre u. ä. Eine wesentliche Bedeutung kommt darüber hinaus auch den mehr naturgegebenen Eigenschaften der Sprache zu, etwa den

---

4) Bei den sog. Zeitfrequenz-Spektrogrammen werden die Augenblicksfrequenzen eines Schallvorgangs in Abhängigkeit von der Zeit, in der dieser Schallvorgang abläuft, aufgetragen. Der Grad der Schwärzung entspricht in diesem Diagramm etwa der Energie.

Unterschieden zwischen Männer-, Frauen- und Kinderstimmen, oder einer angeborenen Stimmwärme, Heiserkeit usw., durch die teilweise auch die ästhetische Sphäre des Menschen angesprochen wird.

III. Das Erkennungsproblem

Der Mensch hat im Laufe seiner Geschichte eine Vielzahl verschiedenartiger Geräte und Maschinen entwickelt, die ihm in seinen Fähigkeiten oftmals überlegen sind. Diese Überlegenheit trifft nicht nur auf die klassischen Maschinen zu, die der Steigerung der Arbeitsleistung dienen, sondern auch auf die erst in den letzten Jahrzehnten entwikkelten elektronischen Rechenmaschinen, die die ihnen aufgetragenen Operationen schneller und zuverlässiger auszuführen vermögen als der Mensch. Dagegen ist es bis heute nur in recht unzureichendem Maße gelungen, die dem Menschen eigene Lernfähigkeit auf die Maschine zu übertragen und diese beispielsweise zur Mustererkennung einzusetzen. Der Grund hierfür liegt einerseits darin, daß wir noch nicht den rechten Einblick in die sich im menschlichen Gehirn abspielenden Wahrnehmungs- und Lernvorgänge haben, und zum anderen darin, daß unsere technischen Möglichkeiten noch nicht zum Aufbau von Systemen ausreichen, die dem menschlichen Nervensystem an Größe und Leistungsfähigkeit vergleichbar wären.

Naturgemäß sind wir weit davon entfernt, von einem der Spracherkennung dienenden Automaten zu erwarten, daß er den angebotenen Sprachvorgang inhaltlich erfaßt und verarbeitet, daß er also „mitdenkt". Wir verstehen vielmehr unter „automatischer Spracherkennung" lediglich einen Vorgang, bei dem das angebotene Sprachsignal mit Hilfe eines Automaten identifiziert und als diskrete Folge definierter Symbole ausgegeben wird. Einfache Transformationen des akustischen Signals, wie sie bereits bei der Umwandlung der Schallschwingungen in analoge elektrische Schwingungen mittels des Mikrophons oder auch bei ihrer Sichtbarmachung auf dem Schirm von Oszillographen oder in Form von Visible-Speech-Spektrogrammen vorliegen, sollen nicht als Spracherkennung gewertet werden. Bei der Entwicklung einer Spracherkennungsapparatur, die in der Lage sein soll, die Sprache beispielsweise in die uns geläufige schriftliche Form zu übertragen, muß folgendes berücksichtigt werden:

1. Die vom Menschen in bestimmter zeitlicher Folge gesprochenen und zu einem Sprachtext zusammengesetzten Einzelwörter werden beim Sprechvorgang fast stets miteinander verschliffen. So ist in dem englischen Satz „How are you?" zwischen den einzelnen Wörtern keine Sprechpause vorhanden, wie man aus dem von diesem Satz aufgenommenen Visible-Speech-Spektrogramm erkennt (Bild 2). Da bei der maschinellen Erkennung der Sprache die für eine schriftliche Wiedergabe notwendige Aufteilung des Sprachtextes in Einzelwörter oftmals mit Hilfe rein akustischer Mittel nicht möglich ist, muß man für den Segmentierungsvorgang auch linguistische Hilfsmittel hinzunehmen [5].

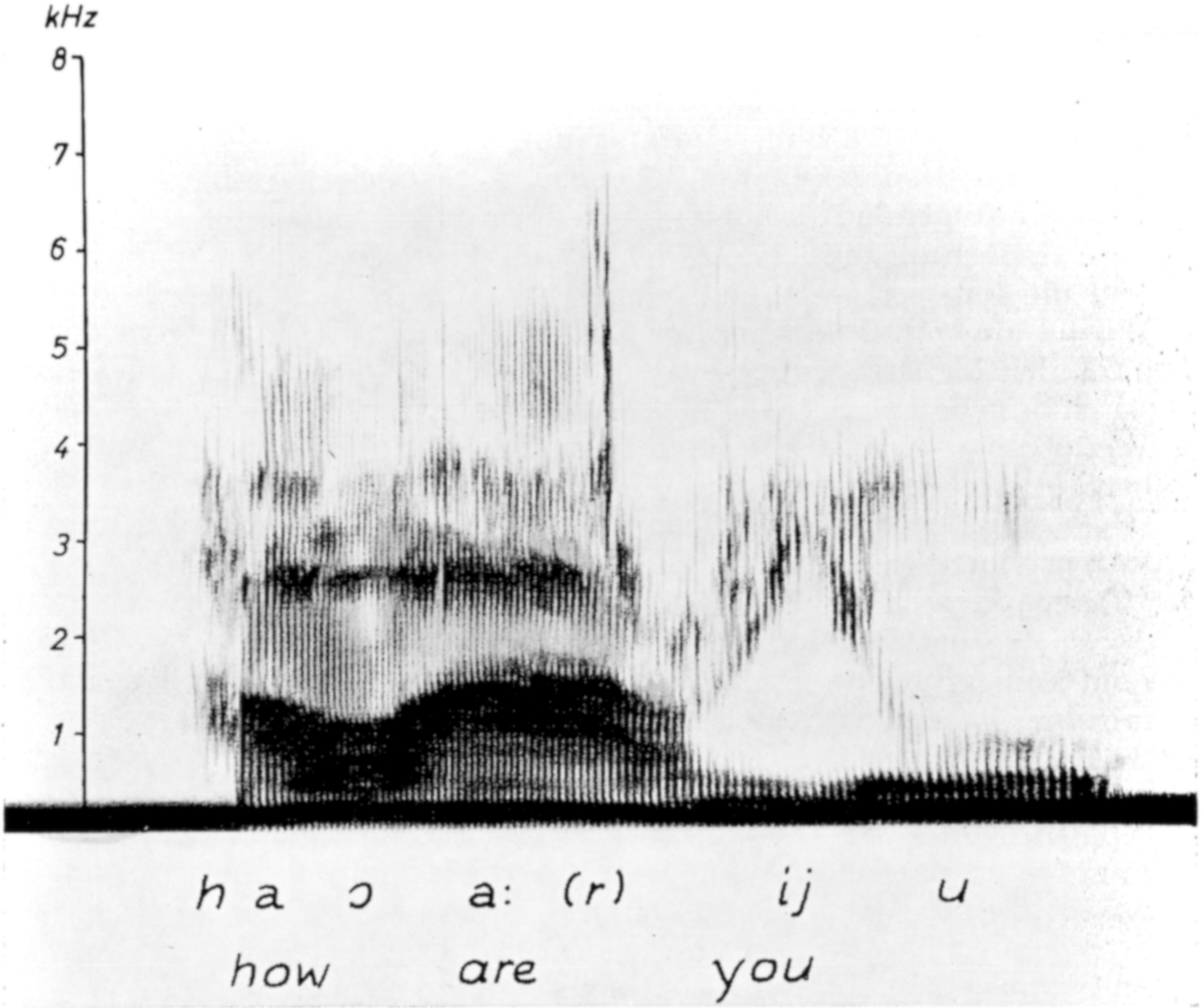


Bild 2. Zum Segmentierungsproblem, Visible-Speech-Spektrogramm des Satzes „How are you?“. Die einzelnen Wörter werden normalerweise ohne Sprechlücken gesprochen

2. Nicht nur die Aussprache eines Sprachtextes von gleicher wortmäßiger Zusammensetzung, sondern auch die Aussprache von Einzelwörtern ist außerordentlich vielgestaltig. Sie hängt, wie schon in Abschnitt A. II. erwähnt, von mundartlichen Färbungen, von Betonungen und Ausdrucksabsichten, also vom Kontext ab und unterliegt selbst bei demselben Sprecher erheblichen Schwankungen. Man vergegenwärtige sich einmal, wie vielseitig das Wort „ja“ im Deutschen gesprochen werden kann! Darüber hinaus gibt es in jeder Sprache Wörter, die — als Einzelereignis betrachtet — wegen völlig gleicher Aussprache schriftlich nicht eindeutig wiedergegeben werden können. So kann z. B. das Wort mit der lautschriftlichen Transkription /ʀaɪn/ folgende orthographische Unterschiede aufweisen: rhein, rain, rein, wenn man von der irrelevanten Groß-/Kleinschreibung einmal absieht.

Der Spracherkennungsautomat müßte also in der Lage sein, nicht nur unterschiedlich ausgesprochene Wörter von gleicher Bedeutung der gleichen Wortklasse, sondern auch phonetisch gleich klingende Wörter verschiedenen Wortklassen zuzuordnen und orthographisch richtig auszugeben.

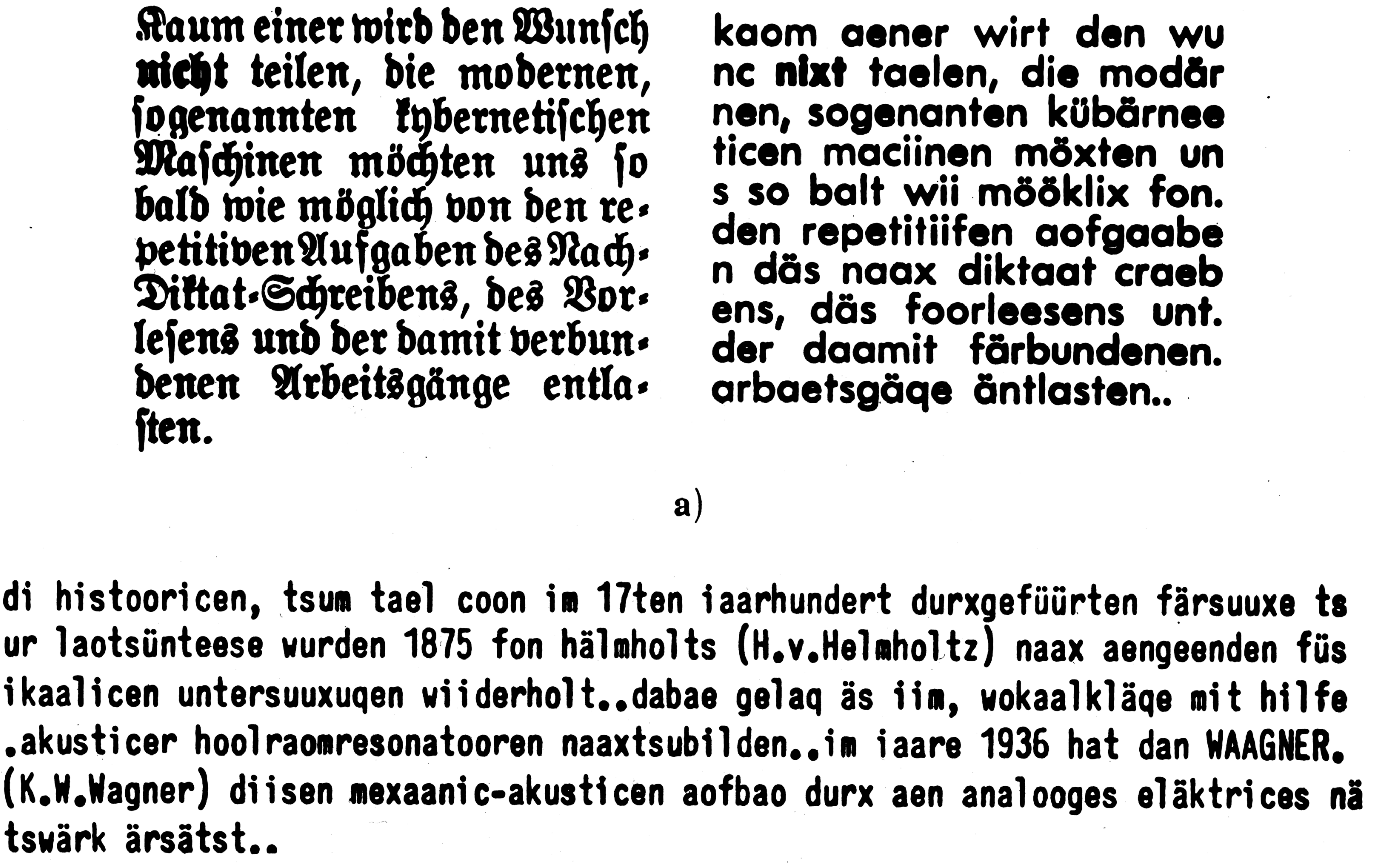
3. Zum Wahrnehmungs- und Erkennungssystem des Menschen gehören sicherlich außerordentlich umfangreiche „Speichereinrichtungen", im allgemeinen Sprachgebrauch mit „Gedächtnis" bezeichnet. — Obgleich über Aufbau, Umfang und Arbeitsweise dieser Speicher bisher nur wenig bekannt ist, scheint es doch berechtigt zu sein, hierüber folgende Annahmen zu machen:

   Im Gedächtnis sind die in der Sprache vorkommenden Sprechlaute und die Lautverbindungen, ferner alle zum Wortschatz gehörenden Wörter und Wortverbindungen gespeichert. Auf diesen Wortschatz muß der Mensch zurückgreifen können, da andernfalls jedes akustisch angebotene Signal für ihn den Charakter des Neuartigen hätte. Weiterhin sind im Gedächtnis auch die grammatikalischen und syntaktischen Regeln gespeichert, durch deren Anwendung es dem Menschen möglich ist, Wörter zu Sätzen zu verbinden und Sätze zu interpretieren.

   Der Sprachtext wird dadurch erkannt, daß das Wahrgenommene durch Anwendung der gespeicherten grammatikalischen Regeln laufend kontrolliert und mit den zuvor bereits erkannten Wörtern, also mit dem Kontext, in einen sinnvollen Zusammenhang gebracht wird. Ist dies nicht möglich, so findet eine Rückfrage oder gar eine Rückweisung statt. Unterscheidungen über den grammatikalisch und inhaltlich richtigen Aufbau des Wahrgenommenen kann der Hörende nur wegen der außerordentlich großen, durch die Struktur der Sprache gegebenen Redundanz treffen, von der er um so mehr Gebrauch machen kann, je mehr er den Inhalt des Gesagten begreift und ihm geistig zu folgen vermag.

   Wenn ein Spracherkennungsgerät über gleiche Fähigkeiten verfügen soll, so muß es nicht nur über einen Speicher für den oben genannten Wortschatz verfügen, sondern ebenso auch über Einrichtungen, die es gestatten, die grammatikalischen und syntaktischen Regeln in richtiger Weise anzuwenden. Erst dann vermag auch das Gerät die in der Sprache enthaltene Redundanz zur Eliminierung von Erkennungsunsicherheiten auszunutzen. Unsere Kenntnisse über den gesetzmäßigen Aufbau der Sprache sind aber noch sehr unvollkommen. Die derzeitig existierenden Grammatiken sind nicht unter dem Aspekt der zur Diskussion stehenden Probleme aufgestellt worden und sind für die Zwecke der maschinellen Spracherkennung unzweckmäßig. Daher wird an der Erstellung von Grammatiken gearbeitet, die sich weitgehend mathematischer Hilfsmittel bedienen [11]. Dazu kommt, daß bei dem augenblicklichen Stand der Technik eine Nachbildung des „menschlichen Erkennungsapparates" auch nicht möglich ist.

Wir müssen uns daher bei der Entwicklung derartiger Automaten einige Einschränkungen auferlegen und zusätzlich eine Reihe von Forderungen auch an die Sprecher stellen, deren Sprache automatisch erkannt werden soll. Wesentliche Schwierigkeiten entfallen bereits, wenn wir uns damit begnügen, daß der vom Automaten zu erkennende Text in Lautschrift ausgegeben wird, wobei die benutzten Lautschriftsymbole nicht unbedingt mit den in Tabelle I angegebenen überein-



Kaum einer wird den Wunſch nicht teilen, die modernen, ſogenannten kybernetiſchen Maſchinen möchten uns ſo bald wie möglich von den repetitiven Aufgaben des Nach-Diktat-Schreibens, des Vorleſens und der damit verbundenen Arbeitsgänge entlaſten.

kaom aener wirt den wu
nc nixt taelen, die modär
nen, sogenanten kübärnee
ticen maciinen möxten un
s so balt wii möököklix fon.
den repetitiifen aofgaabe
n däs naax diktaat craeb
ens, däs foorleesens unt.
der daamit färbundenen.
arbaetsgäqe äntlasten..

a)

di historicen, tsum tael coon im 17ten iaarhundert durxgefüürten färsuuxe ts
ur laotsünteese wurden 1875 fon hälmholts (H.v.Helmholtz) naax aengeenden füs
ikaalicen untersuuxuqen wiiderholt..dabae gelaq äs iim, wokaalkläqe mit hilfe
.akusticer hoolraomresonatooren naaxtsubilden..im iaare 1936 hat dan WAAGNER.
(K.W.Wagner) diisen mexaanic-akusticen aofbao durx aen analooges eläktrices nä
tswärk ärsätst..

b)

Bild 3. Druckproben aus einem in Lautschrift veröffentlichten Buch
a) aus [12], b) aus [13].
Es bedeuten hier; c = sch; x = ch; q = ng

stimmen müssen. Der Mensch muß sich zusätzlich im Gebrauch dieses Lautschriftalphabetes üben: Daß sich ein in Lautschrift gedruckter Text bereits nach kurzer Übung fließend lesen und auch inhaltlich verstehen läßt, hat ein im Jahre 1963 durchgeführter Versuch mit dem ausschließlich in Lautschrift gedruckten Buch „Sprache und Schrift im Zeitalter der Kybernetik“ [12] ergeben. Bild 3 zeigt zwei Druckproben aus diesem Buch, und zwar Bild 3a einen Auszug aus dem Vorwort und Bild 3b eine Probe aus einem wissenschaftlichen Beitrag [13]. In Bild 3a ist ein deutschsprachiger Text in normaler Duden-Rechtschreibung und unter Verwendung eines vereinfachten Lautschriftalphabets wiedergegeben. Man erkennt, daß bereits 26 Zeichen, beispielsweise die Buchstaben des normalen Schriftalphabets, zur Darstellung der deutschen Sprache in Lautschrift ausreichen, wenn man eine geringfügige Umordnung der zur Verfügung stehenden Symbole vornimmt. Verzichtet man ferner auf die Forderung, daß der Automat die zu erkennende Sprache „beherrschen“ muß, so muß man dem Sprecher die Aufgabe stellen, sehr artikuliert zu sprechen, auf den für ein Gespräch unumgänglich notwendigen Sprachfluß zu verzichten und auch die Segmentierung zu übernehmen. Zwischen die einzelnen Wörter müssen also Sprechpausen eingelegt werden, die in jedem Falle von größerer Zeitdauer sein müssen als die Sprachlücken, die zur Artikulation von Explosivlauten während des normalen Sprachablaufs notwendig sind. Der Automat braucht dann nur noch jedes einzelne ihm angebotene Wort richtig oder falsch oder als „nicht erkannt“ auszugeben. Er ist nicht in der Lage, die Redundanz der Sprache auszunutzen, kontextliche Zusammenhänge zu erkennen und Korrekturen vorzunehmen.

Schließlich ist es erforderlich, den für den Automaten bestimmten Wortvorrat so zu begrenzen, daß die angebotenen Wörter mit Hilfe einiger weniger akustischer und linguistischer Kriterien erkannt werden können. Ein derart begrenzter und in gewissem Sinne in sich abgeschlossener Wortvorrat wird z. B. durch die zehn Zahlwörter Null ... Neun und einige wenige, bei Rechenoperationen gebräuchliche Verknüpfungswörter wie „plus, minus, Summe, falsch“ usw. repräsentiert. Aus den außerordentlich zahlreichen Veröffentlichungen über Spracherkennungsverfahren [10] geht hervor, daß man sich bei fast allen Untersuchungen gerade dieses Wortschatzes in den verschiedenen Sprachen bedient hat.

An einer Forderung aber wird unabdingbar festgehalten: Auch bei noch so begrenztem Vokabularium dürfen Erkennungsverfahren und Erkennungssicherheit nicht von der Stimmlage der sprechenden Person, also weder von deren Alter noch von deren Geschlecht abhängen.

Beim Studium der Fachliteratur stellt man fest, daß man das Problem der Spracherkennung von drei verschiedenen Seiten aus in Angriff nehmen kann:

1. Da sich ein gesprochenes Wort oder ein Laut physikalisch als Schallvorgang manifestiert, versucht man naturgemäß zur Erkennung Meßmethoden der Akustik und der Elektroakustik anzuwenden. Die nachfolgenden Ausführungen in Abschnitt A. IV. 1. werden zeigen, daß es nicht möglich ist, die vorliegende Aufgabe allein mittels akustischer Verfahren zu lösen.
2. Es wurde bereits mehrfach darauf hingewiesen, daß die Fähigkeit des Menschen, Ausdrucksmerkmale, Betonungseffekte und sonstige linguistische Merkmale wahrzunehmen und zu erfassen, den Erkennungsvorgang wesentlich unterstützt. In Abschnitt A. IV. 2. soll über die ersten Versuche, linguistische Merkmale zur automatischen Spracherkennung heranzuziehen, berichtet werden.
3. Die Erfassung semantischer Merkmale der Sprache durch einen Automaten hingegen bereitet vermutlich erhebliche Schwierigkeiten. Soweit bekannt, wurden bis heute noch keine Versuche unternommen, auch diese Merkmale zur Spracherkennung heranzuziehen.

IV. Methoden der Spracherkennung

1. Der Sprachvorgang als akustisches Ereignis

Zur Übertragung eines gesprochenen Textes in die schriftliche, visuell lesbare Form bedient man sich normalerweise der Buchstaben und Ziffern eines bestimmten Alphabets sowie einiger Sonderzeichen, in besonderen Fällen auch der Symbole des Lautschriftalphabets. Aus diesen Symbolen werden Buchstabenfolgen unterschiedlicher Länge gebildet, wobei jeweils eine einzelne Folge das schriftliche Abbild eines bestimmten Wortes darstellt. Es ist belanglos, ob für eine solche Transkription isoliert stehende Druckschrift- oder Lautschriftsymbole verwendet werden oder manuell geschriebene und durch Linienzüge miteinander verbundene Buchstaben. Die verbindenden Linienzüge sind allenfalls für graphologische Untersuchungen interessant, enthalten aber — im Gegensatz zu den Lautübergängen beim Sprechakt — keine Information.

Wenn man nun einen vom Gehör wahrgenommenen Sprachtext als physikalisches Ereignis ansieht, so stellt man fest, daß die den Text bildenden Wörter — oftmals schon beim Sprechakt — in Abschnitte zerlegt werden können, wobei jeder Abschnitt einen kontinuierlichen Schallvorgang darstellt. Wird ein solcher Sprachabschnitt in eine Buchstabenfolge übertragen, so wird dadurch ein kontinuierlicher Vorgang in einen diskontinuierlichen, das heißt in eine Folge von Einzelereignissen, zerlegt. In dem hier interessierenden Falle entsprechen diese Einzelereignisse den akustisch oftmals nur wenig unterschiedlichen Sprechlauten, die durch die Symbole des Lautschriftalphabets schriftlich fixiert werden können. Eben diese Fähigkeit einer Quantisierung wird auch von einem Automaten gefordert, wenn er ein akustisch wahrgenommenes Signal als eine Folge von Lautschriftsymbolen ausgeben soll. Es wäre naheliegend, zu versuchen, die Funktionen, die sich bei einem solchen Vorgang im menschlichen Gehirn abspielen, auf einen Automaten zu übertragen. Dies scheitert nicht nur daran, daß man die Gehirnfunktionen aus technischen Gründen nicht simulieren kann, sondern mehr noch daran, daß man nicht weiß, welche Vorgänge sich im menschlichen Wahrnehmungszentrum bei einem solchen Quantisierungsprozeß abspielen (Abschnitt A. IV. 2). Für die vorliegende Aufgabe erheben sich somit folgende Fragen:

1. Durch welche Merkmale unterscheiden sich die einzelnen Sprechlaute physikalisch voneinander?
2. Welche Merkmale sind gegenüber speziellen Spracheigenschaften, gegenüber Alter und Geschlecht der sprechenden Person invariant?
3. Ist es möglich, Geräte zu entwickeln, die diese Entscheidungsmerkmale mit genügender Sicherheit zu erkennen vermögen?

a) Die akustische Erkennungshierarchie

Für die weiteren Betrachtungen gehen wir davon aus, daß ein Spracherkennungsautomat in der Lage sein muß, das zu erkennende Wort in seine akustischen Bauelemente, die Sprechlaute, zu zerlegen. Er muß ferner die Reihenfolge angeben, in der diese Laute in dem zu analysierenden Wort vorkommen — bei dem gesprochenen Wort „acht“ beispielsweise die Reihenfolge: Stimmhafter Laut — Reibelaut — Explosivlaut.

Eine solche Aussage kann jedoch von einem Automaten nur dann gemacht werden, wenn er die akustischen Merkmale erkennt, durch die sich diese zu drei verschiedenen Gruppen gehörenden Laute unterscheiden. Der Automat muß sodann die einzelnen Laute identifizieren. Er muß feststellen, daß es sich bei dem stimmhaften Laut um einen Vokal, und zwar um ein /a/, bei dem Reibelaut um ein /χ/ und bei dem Explosivlaut um ein /t/ handelt. Dies ist wiederum nur möglich, wenn der Automat auch über die Fähigkeit verfügt, diejenigen Merkmale zu erkennen, durch die sich die angebotenen Laute von anderen

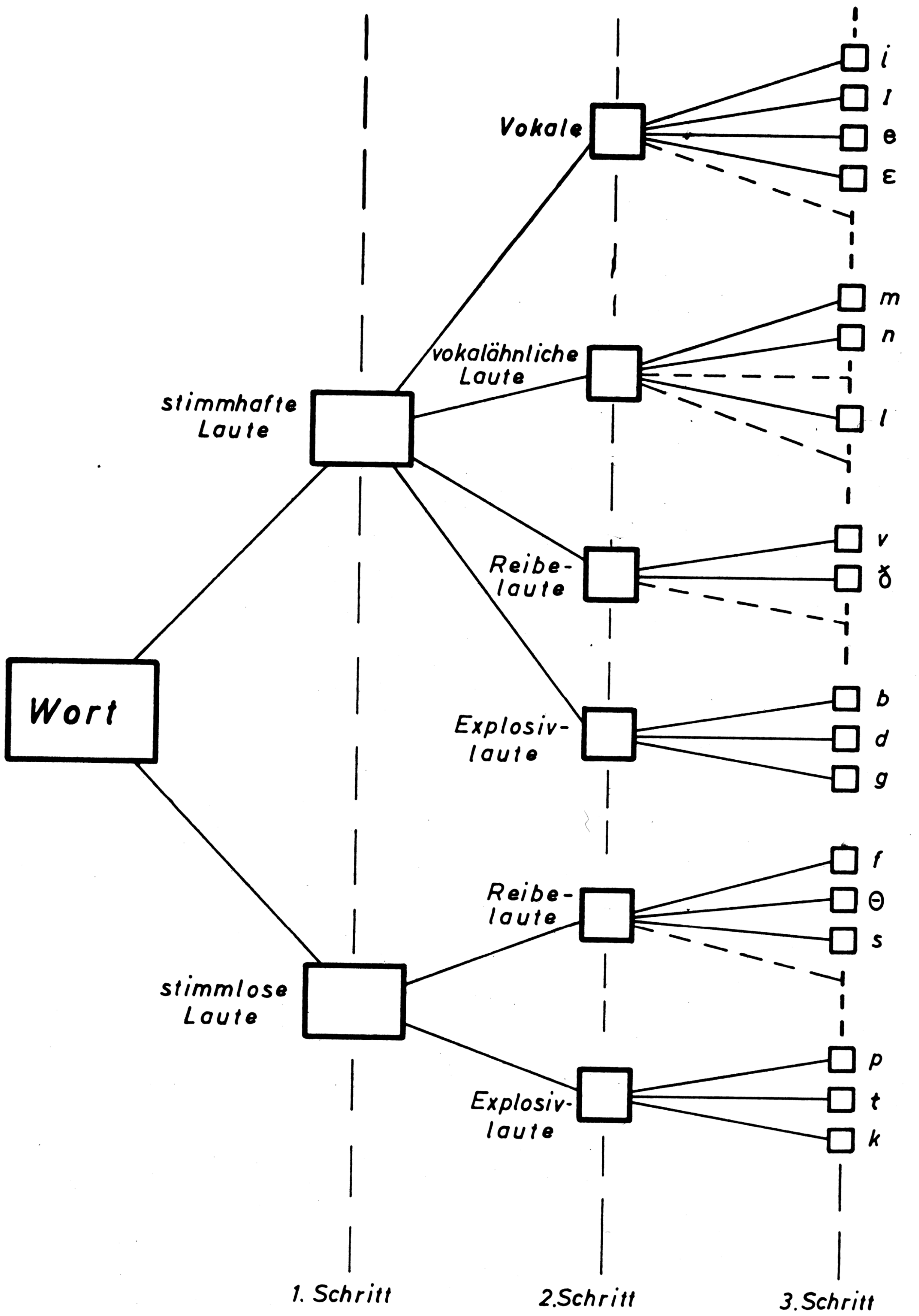


Bild 4. Die Erkennungshierarchie

Lauten der jeweils zugehörigen Gruppe unterscheiden. Ist er noch dazu in der Lage, die erkannten Laute in schriftlicher Form auszugeben, so ist das erste Ziel, die Entwicklung einer phonetischen Schreibmaschine, erreicht.

Der nächste Entwicklungsschritt müßte nun darin bestehen, die Erkennungsmerkmale der Einzellaute so miteinander zu vereinigen, daß bestimmte Merkmalskombinationen jeweils eindeutig einem bestimmten Wort entsprechen. Das Vorgehen nach diesem hierarchisch aufgebauten, in Bild 4 schematisch dargestellten Plan kann nach jeder einzelnen Stufe abgebrochen werden, vorausgesetzt, daß sich die einzelnen zu erkennenden Wörter hinreichend eindeutig in ihren, in der jeweiligen Stufe gerade erfaßten Merkmalen unterscheiden. Damit ist naturgemäß von vornherein auch die Anzahl der unterscheidbaren Wörter festgelegt.

Hierzu zwei Beispiele:

Es sei angenommen, der Wortvorrat bestehe nur aus den beiden Wörtern „null“ und „eins“. Die Erkennungsapparatur stellt dann in der ersten Erkennungsstufe fest, daß in dem Wort „null“ lediglich das Merkmal „stimmhafter Laut“, im zweiten Wort „eins“ dagegen die Merkmale „stimmhafter Laut — Reibelaut“ vorkommen. Es ist in diesem Falle völlig ausreichend, wenn der Automat mittels eines Codierungsschemas feststellt, daß nur im zweiten Wort ein Reibelaut vorkommt. Der Automat trifft dann folgende Entscheidung:

Merkmal „Reibelaut“ nicht vorhanden → angebotenes Wort: „null“
Merkmal „Reibelaut“ vorhanden → angebotenes Wort: „eins“.

Ganz anders und wesentlich komplizierter liegen die Verhältnisse, wenn es sich bei den zu erkennenden Wörtern um die beiden akustisch weitgehend übereinstimmenden Zahlwörter „null“ und „neun“ handelt: In der ersten Erkennungsstufe wird übereinstimmend nur das Merkmal „stimmhafter Laut“ registriert. Aber auch in der zweiten Stufe wird nur ermittelt, daß es sich in beiden Fällen um die Lautfolge:

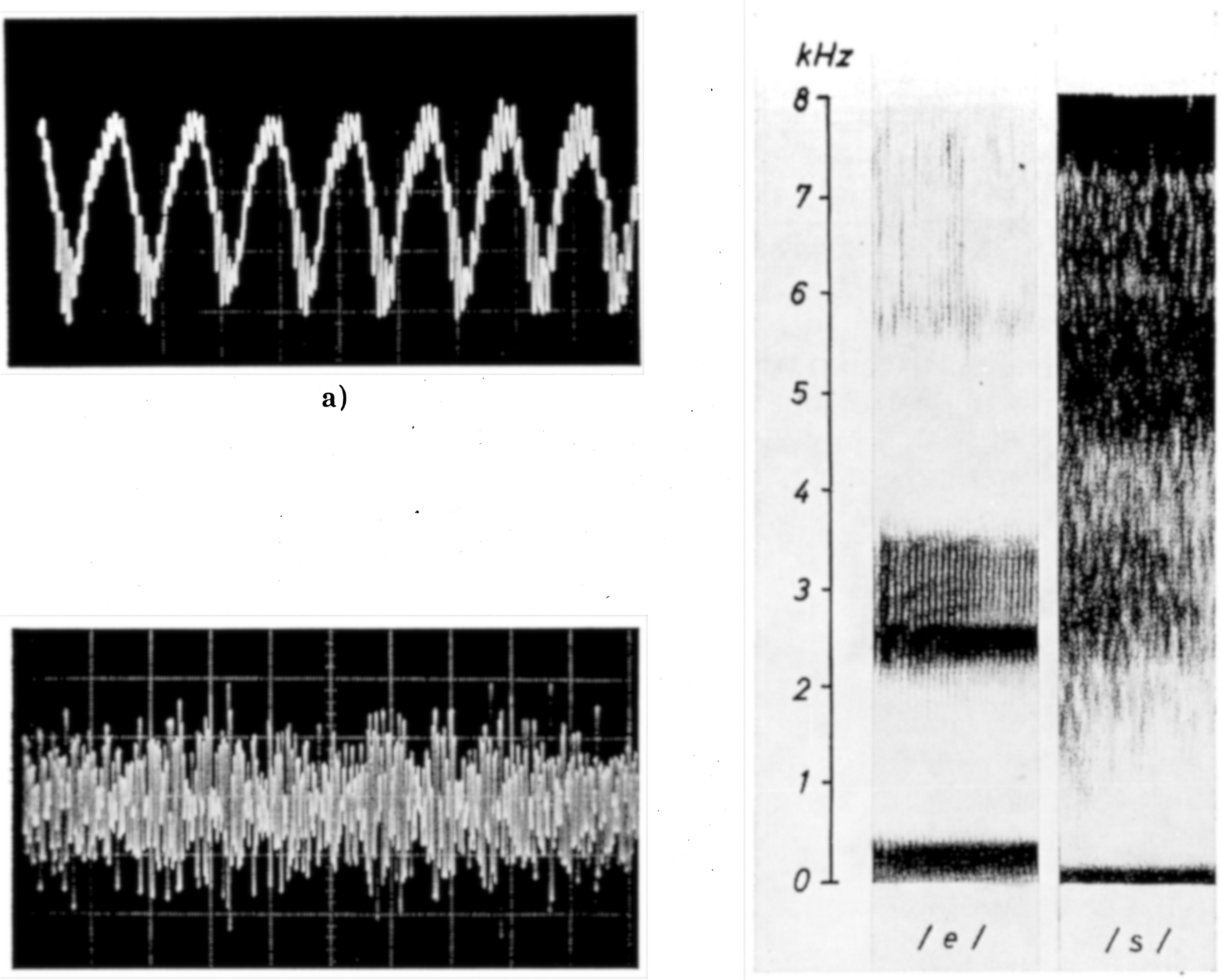
vokalähnlicher Laut — Vokal — vokalähnlicher Laut handelt. Erst in der dritten Stufe sollte es dann — u. zw. mit erheblichem apparativen Aufwand — möglich sein, Unterschiede zwischen den einzelnen Lauten der gleichen Gruppe festzustellen, und dies, obgleich sich auch hier der Wortvorrat nur auf zwei Wörter beschränkt.

b) Akustische Merkmale der Sprechlaute

Das in Bild 4 dargestellte Schema entspricht der Gliederung der in Tabelle I erfaßten Laute. Diese Gliederung wurde sowohl auf Grund des unterschiedlichen gehörmäßigen Eindrucks als auch auf Grund der verschiedenartigen akustischen Erzeugung im menschlichen Stimmbildungssystem getroffen. Daß eine Einteilung in der angegebenen Weise sinnvoll ist, kann durch physikalische Messungen nachgewiesen werden:

Ein Sprechlaut — auch Phonem genannt — wird physikalisch durch einen Schwingungsvorgang von unterschiedlicher Dauer und unterschiedlicher spektraler Zusammensetzung dargestellt. Die Frequenzen der einzelnen Schwingungskomponenten liegen vornehmlich innerhalb eines Frequenzbereiches von etwa 50 bis etwa 10 000 Hz, die Zeitdauer eines Einzellautes zwischen etwa 20 und 250 Millisekunden. Handelt es sich bei den Schwingungskomponenten im wesentlichen um quasiperiodische, durch die Erregung der Stimmlippen entstehende Schwingungen, so rechnet man den zugehörigen Laut zur Hauptgruppe der „stimmhaften Laute". Läßt dagegen die den Schwingungsvorgang darstellende Zeitfunktion keine Regelmäßigkeit erkennen (Vorgang mit Rauschcharakter), so wird durch das Schallereignis ein zur zweiten Hauptgruppe gehörender „stimmloser Laut" dargestellt. Die Bilder 5a und b zeigen diese Eigenschaften bei den Lauten /e/ und /s/. Die phänomenologische Beschreibung dieser beiden Merkmale der Haupt-Lautgruppen ist zwar außerordentlich trivial, ihre apparative Erfassung bereitet jedoch erhebliche Schwierigkeiten. Außer „reinen" stimmhaften Lauten und „reinen" stimmlosen Lauten gibt es als Zwischenlaute noch die stimmhaften Reibelaute und die stimmhaften Explosivlaute. Die bei beiden Lautgruppen vorhandene Sprachgrundfrequenz entscheidet u. a. über die Zugehörigkeit dieser Laute zu den entsprechenden Lautgruppen. Weiterhin unterscheiden sich die stimmlosen und stimmhaften Laute dadurch voneinander, daß bei Lauten der ersten Gruppe vornehmlich Frequenzen oberhalb von etwa 3000 Hz auftreten, während bei den stimmhaften Lauten die Frequenzen unterhalb von 3000 Hz, im allgemeinen sogar Frequenzen unterhalb von 1500 Hz, die größten Amplituden haben (Bild 5 c und d).

Eine besondere Lautgruppe bilden die Explosiv- oder Verschlußlaute, also jene Laute, deren zeitliche Verläufe sich durch einen plötzlichen Schwingungseinsatz auszeichnen und deren Spektren dementsprechend ein breites Frequenzband umfassen. Sie kommen dadurch zustande, daß nach einer kurzen Sprechpause von etwa 100 ms Dauer der Luftaustritt aus der Mundöffnung plötzlich freigegeben wird. Die stimmlosen Explosivlaute unterscheiden sich von den stimmhaften nur dadurch, daß bei den erstgenannten Lauten während dieser Pausen vom Mund keine Schallenergie abgestrahlt wird, bei den zur zweiten



a)

b)

c)

d)

Bild 5. Sprechlaute als akustische Ereignisse:
a) Zeitfunktion des Vokals /e/ als Beispiel für einen quasiperiodischen Schwingungsverlauf,
b) Zeitfunktion des stimmlosen Reibelautes /s/ als Beispiel für einen unperiodischen Schwingungsverlauf,
c) und d) zugehörige Visible-Speech-Spektrogramme

Gruppe gehörenden Lauten dagegen die Stimmlippen während der Pause in der individuell unterschiedlichen Sprachgrundfrequenz schwach erregt werden. Dies hat wiederum zur Folge, daß bei den stimmlosen Explosivlauten der Lauteinsatz abrupt, bei den stimmhaften Lauten dagegen weich eintritt. Plötzliche Energieabstrahlung nach kurzer vorhergehender Pause ist also ein Erkennungsmerkmal für stimmlose Explosivlaute, weniger plötzlich einsetzende Energieabstrahlung und kurzzeitige vorhergehende Erregung der Stimmlippen ein Erkennungsmerkmal für stimmhafte Explosivlaute.

In der Hauptgruppe der stimmhaften Laute sind die Vokale zahlenmäßig am stärksten vertreten. Ihnen kommt zudem als Informationsträger die größte Bedeutung zu. Bei einer Sprachübertragung kann z. B. ein verstümmelter Text durchaus noch verständlich sein, wenn Explosiv- und Reibelaute nicht richtig wiedergegeben werden, wogegen eine fehlerhafte Übertragung der Vokale meistens mit einer Sinnentstellung verknüpft ist.

Die Vokale entstehen — wie alle stimmhaften Laute — dadurch, daß die Stimmlippen des menschlichen Stimmbildungssystems durch den aus der Lunge kommenden Luftstrom zu obertonreichen quasiperiodischen Schwingungen angeregt werden. Die Höhe der zugehörigen Sprachgrundfrequenz ist individuell sehr verschieden. Sie liegt bei Männerstimmen etwa zwischen 120 und 160 Hz, bei Frauenstimmen etwa zwischen 150 und 280 Hz, bei Kinderstimmen bei etwa 300 Hz. Dazu treten Frequenz-Schwankungen auf, die ein wesentliches Ausdrucksmittel des Menschen — die Sprachmelodie — darstellen. Das durch die Erregung der Stimmlippen verursachte Schallereignis besitzt ein Linienspektrum. Bei der Abstrahlung des Schalles durch Mund und Nase ist je nach Mundstellung die Energie in bestimmten Spektralbereichen — den für den jeweiligen Vokal charakteristischen sogenannten Formantbereichen — konzentriert, während in anderen, ebenfalls charakteristischen Bereichen — den Antiformanten — keine Energie abgegeben wird. Durch die Lage der einzelnen Formantbereiche im Spektrum und durch den frequenzmäßigen Abstand, den die Mittenfrequenzen der Formanten voneinander haben, lassen sich die einzelnen Vokale recht genau beschreiben (Bild 6). Hierbei sind zu jedem auf der Abszissenachse angegebenen Vokal die charakteristischen Frequenzbänder der drei energiereichsten Formanten F_1, F_2 und F_3 als Ordinatenwerte aufgetragen. Für die eindeutige Charakterisierung eines Vokales genügen im allgemeinen die Frequenzangaben des ersten und des zweiten Formanten. Trägt man von jedem Vokal die aus Spektralanalysen gewonnenen Mittenfrequenzwerte dieser beiden unteren Formantbereiche ν_1 und ν_2 in ein durch ν_1 und ν_2 aufgespanntes rechtwinkliges

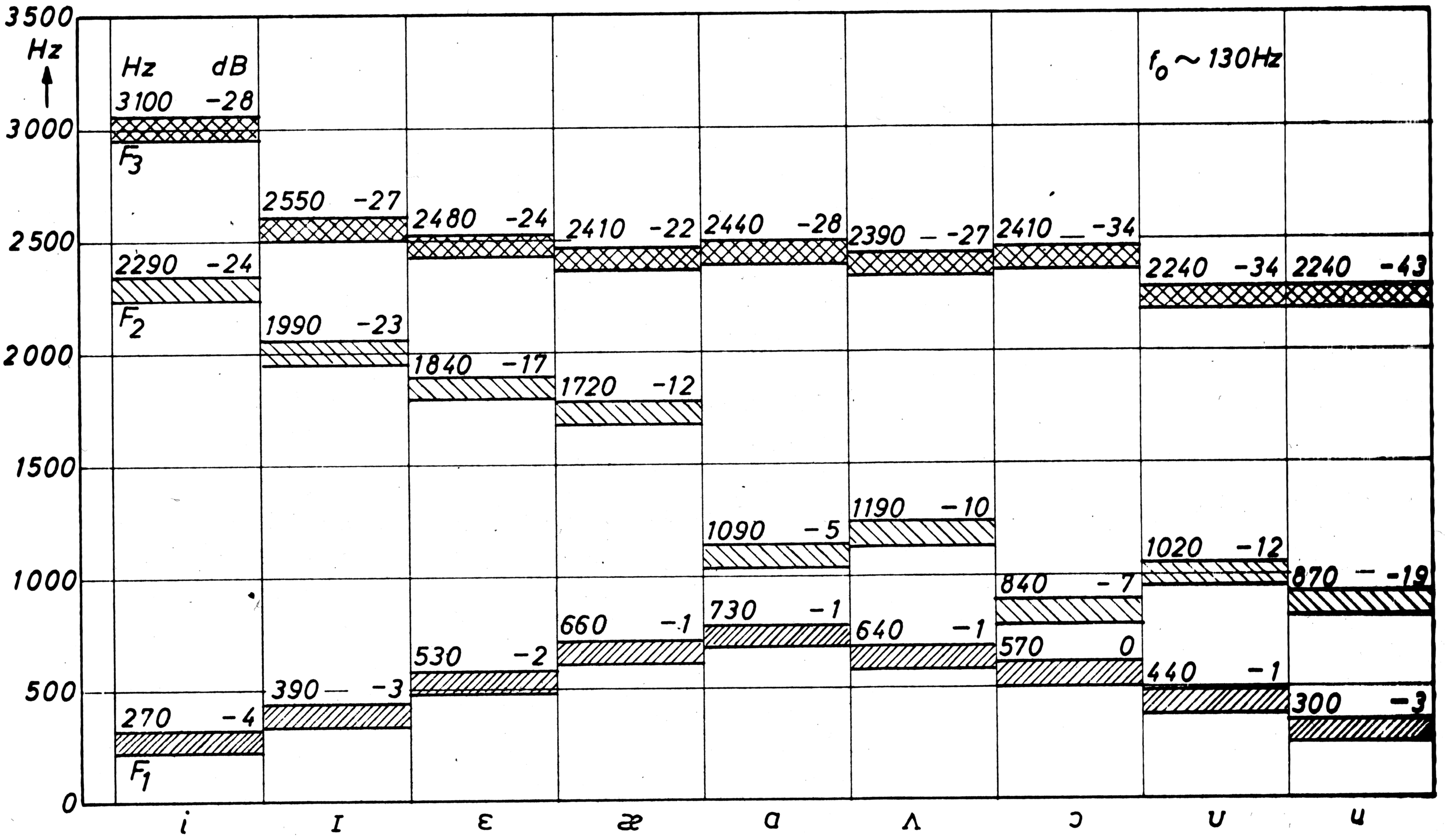


Bild 6. Die drei Hauptformanten F_1, F_2, F_3 von 9 Vokalen; Zahlenangaben links: Mittenfrequenzen der Formanten, rechts: Pegelwerte in dB gegenüber dem Formanten F_1 von /ɔ/ als Bezugspegel Null, nach [14]

Koordinatensystem ein und verbindet sie durch einen Linienzug miteinander, so erhält man eine dreiecksähnliche, geschlossene Figur, das sog. Vokaldreieck, für eine typische Männerstimme etwa die ausgezogen gezeichnete Kurve in Bild 7.

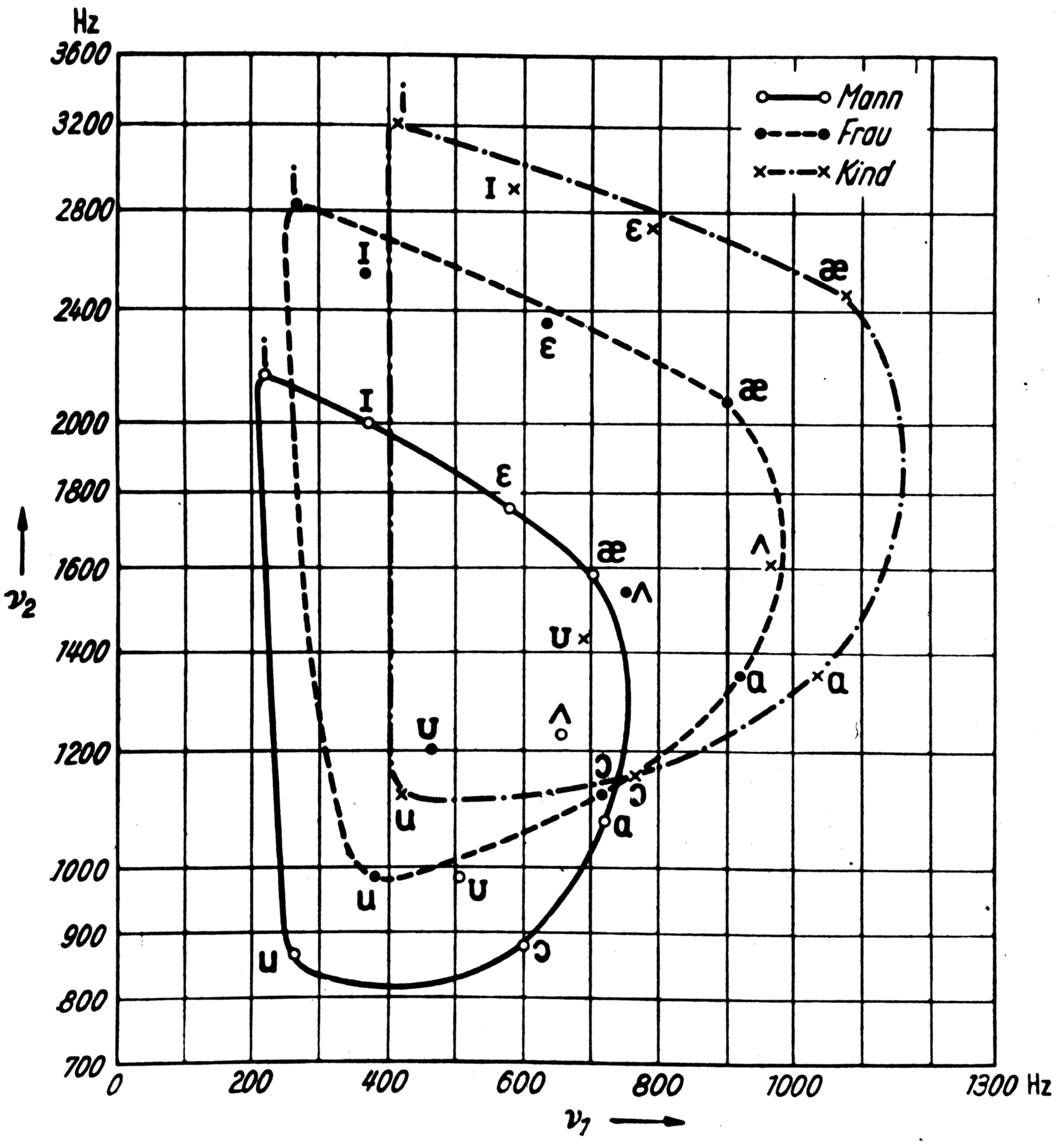


Bild 7.
Formantkarte mit Vokaldreiecken für Männer-, Frauen- und Kinderstimme (aus [3] nach [16]) (Aussprache: amerikanische Umgangssprache)

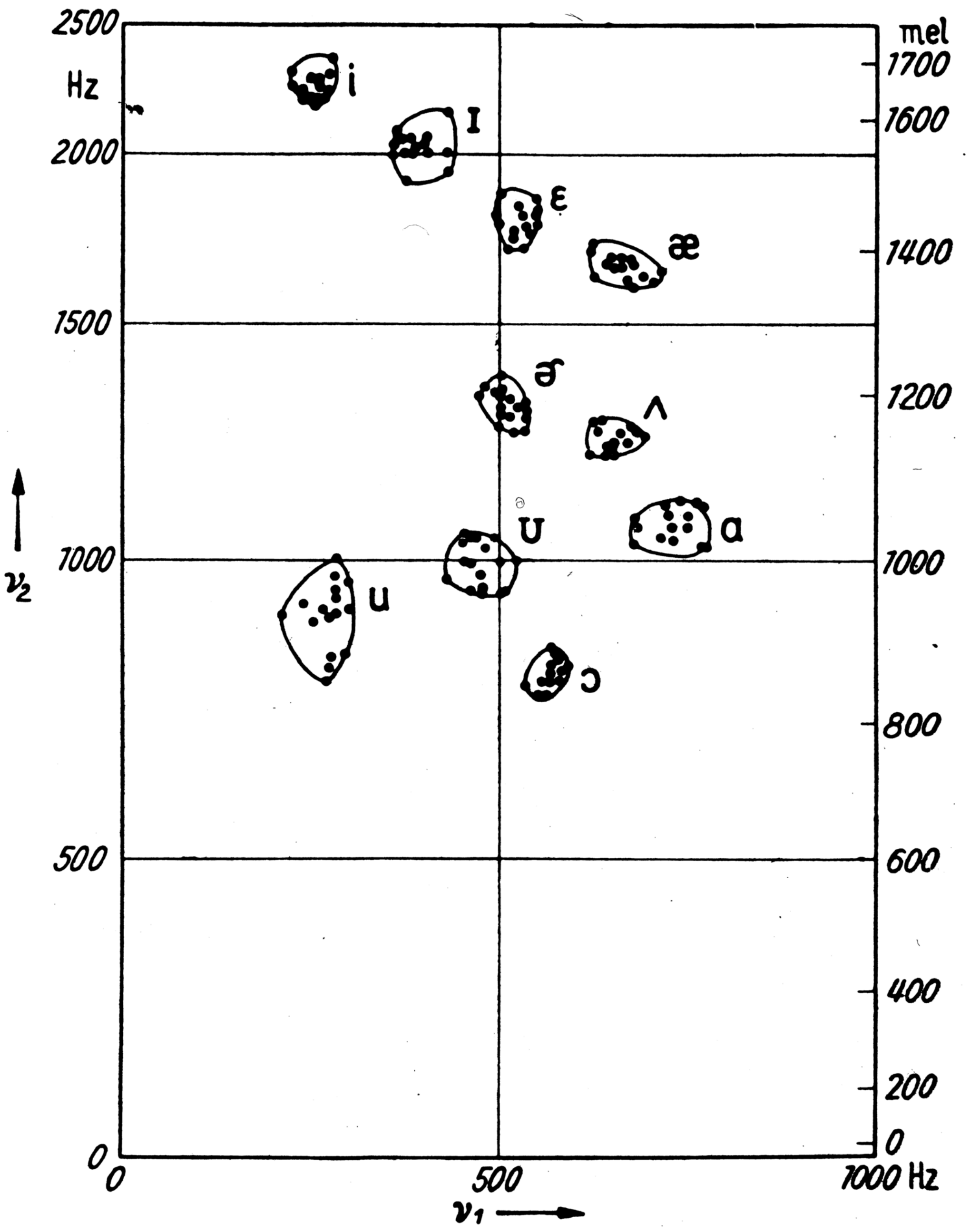


Bild 8.
Formantkarte; Streuwerte bei einem einzelnen Sprecher (aus [3]) (/ɚ/ = „r“-gefärbter“ amerikanischer Vokal /ə/)

In Abschnitt A. II. wurde bereits darauf hingewiesen, daß die Artikulation selbst bei ein und demselben Sprecher infolge emotioneller Färbungen recht unterschiedlich sein kann. Dies kommt auch bei der genannten Darstellung der Formantspektren zum Ausdruck. Jedem einzelnen Vokal ist, wie man Bild 8 entnehmen kann, nicht nur ein Punkt, sondern ein Bereich zugeordnet [14]. Trägt man darüber hinaus in die Formantkarte (Bild 7) noch die Formant-Mittenfrequenzen von Frauen- und Kinderstimmen ein, so zeigt sich nach Untersuchungen von G. E. Peterson [16], daß die genannten Vokaldreiecke systematisch gegeneinander verschoben sind. Ähnliche Ergebnisse haben auch R. K. Potter und J. C. Steinberg erhalten [15], die in eine Formantkarte die von einer großen Anzahl von Versuchspersonen verschiedenen Geschlechts und Alters nach Formantfrequenzen gekennzeichneten Vokale eingetragen haben. Um jeden auf diese Weise lokalisierten Vokal läßt sich, wie Bild 9 zeigt, ein Streubereich angeben. Diese Darstellung ist insofern außerordentlich aufschlußreich, als sie zu erkennen gibt, daß sich die einzelnen Vokale allein durch Angabe ihrer Formantfrequenzen ν_1 und ν_2 nicht genügend voneinander unterscheiden lassen, sondern daß zwischen den einzelnen Nachbarvokalen Überlappungsbereiche vorhanden sind, die eine eindeutige, auf diesen Frequenzangaben basierende Erkennung von vornherein ausschließen. Für eine

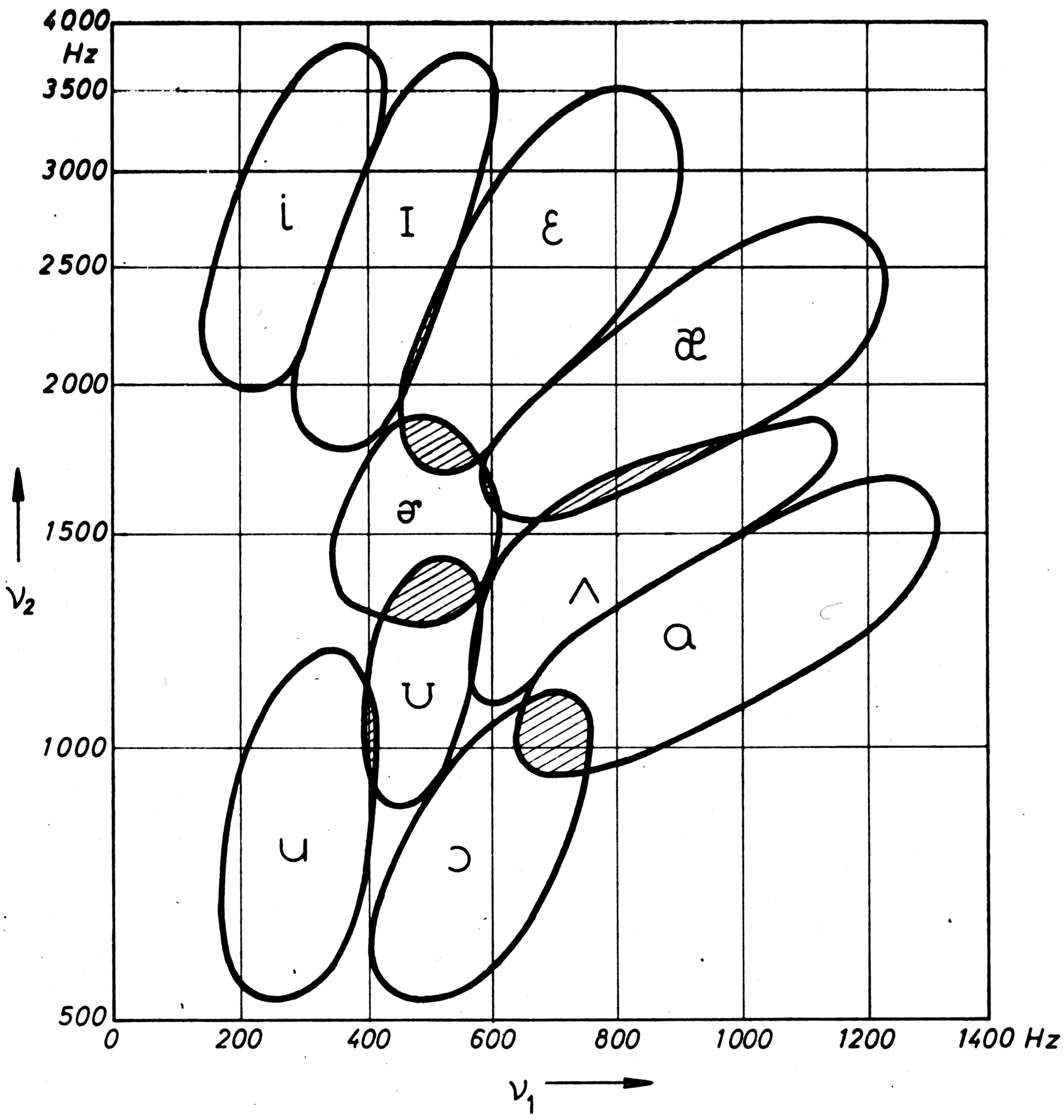


Bild 9.
Formantkarte; Streuwerte bei verschiedenen Sprechern. In den schraffiert gezeichneten Überlappungsgebieten ist eine eindeutige Beschreibung der Vokale nicht möglich [15] (/ɚ/ = „r-gefärbter“ amerikanischer Vokal /ə/)

automatische Erkennung müssen daher noch weitere Parameter hinzugenommen werden, beispielsweise die Frequenzen der dritten Formanten.

Die Spektren der vokalähnlichen Laute, insbesondere die der Nasallaute, sind denen der Vokale sehr ähnlich. Unterschiede

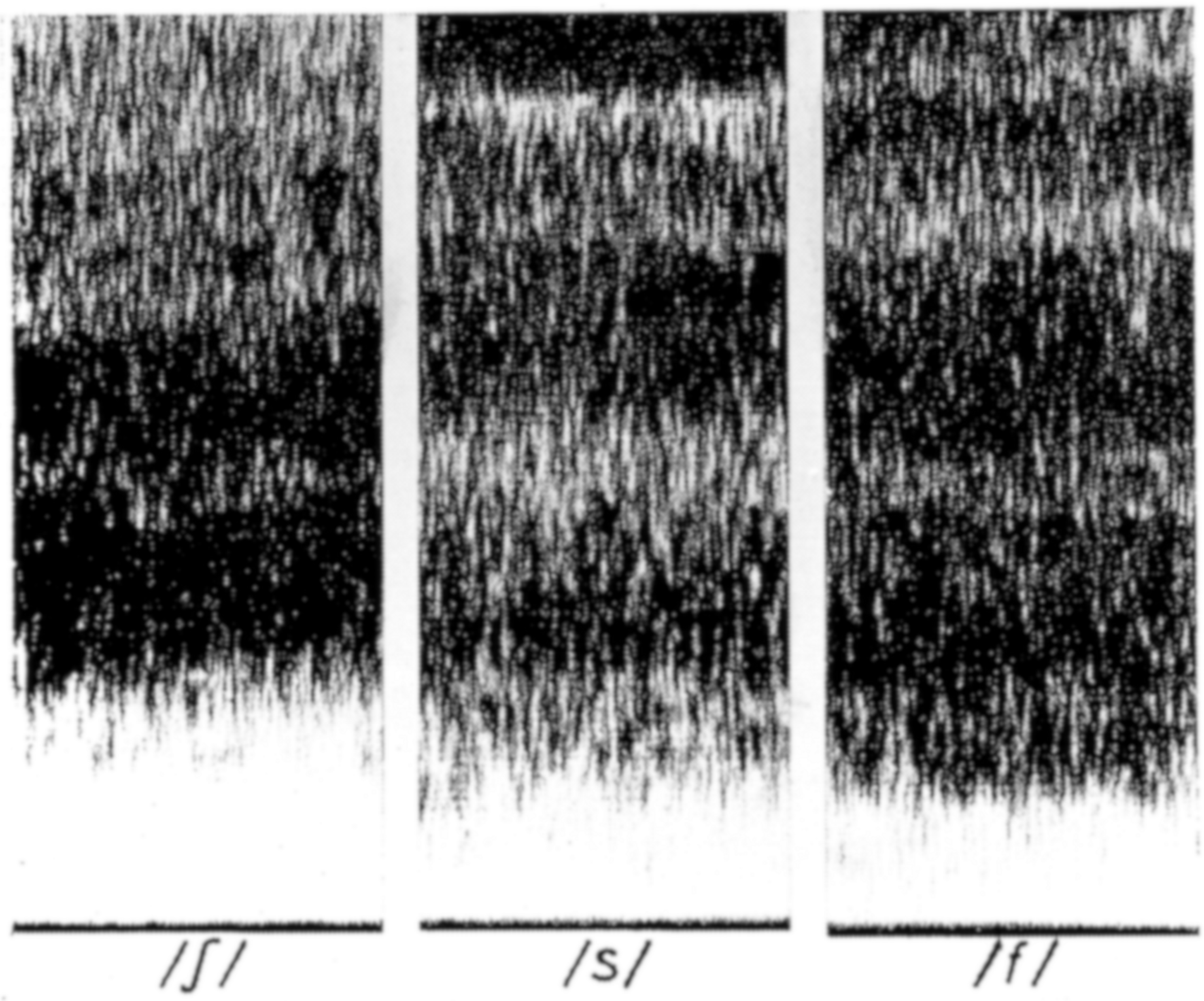


Bild 10.
Visible-Speech-Spektrogramme der drei stimmlosen Reibelaute /ʃ/, /s/, /f/

offenbaren sich vor allem durch eine geringere Energieabstrahlung, was man u. a. bei den in der französischen Sprache vorkommenden, nasal gesprochenen Vokalen wie /ã/ oder /ɔ̃/ beobachten kann.

Tabelle II

Die Entscheidungsmerkmale von Jakobson, Fant und Halle, nach [7]

1. vokalisch (+)/nicht-vokalisch (−)
Vorhandensein bzw. Fehlen einer scharf ausgeprägten Formantstruktur.

2. konsonantisch (+)/nicht-konsonantisch (−)
geringe bzw. hohe Gesamtenergie.

3. kompakt (+)/diffus (−)
stärkere bzw. geringere Energiekonzentration in einem verhältnismäßig schmalen, zentral gelegenen Bereich des Spektrums bei gleichzeitiger Vergrößerung bzw. Verminderung der Gesamtenergie.

4. gespannt (+)/ungespannt (−)
höhere bzw. niedrigere Gesamtenergie, verbunden mit einer größeren bzw. kleineren spektralen und zeitlichen Streuung der Energie.

5. stimmhaft (+)/stimmlos (−)
Vorhandensein bzw. Fehlen einer tieffrequenten periodischen Schwingung.

6. nasal (+)/oral (−)
Verteilung der verfügbaren Energie über breitere bzw. schmalere Frequenzbereiche durch Verminderung der Intensität bestimmter (vornehmlich der ersten) Formanten bei gleichzeitigem Auftreten zusätzlicher (nasaler) Formanten.

7. diskontinuierlich (+)/kontinuierlich (−)
Unterbrechung, gegebenenfalls mit vorhergehender oder nachfolgender Energiestreuung über ein weites Frequenzgebiet (Rauschimpuls oder schnelle Änderung der Vokalformanten) bzw. Fehlen abrupter Übergänge zwischen Schallsignal und derartiger Unterbrechung.

8. scharf (+)/weich (−)
höhere bzw. niedrigere Rauschintensität.

9. gehemmt (+)/ungehemmt (−)
höhere Energieabstrahlung innerhalb eines kurzen Zeitabschnitts bzw. geringere Energieabstrahlung innerhalb eines längeren Zeitabschnitts.

10. dumpf (+)/hell (−)
Energiekonzentration in den tiefer liegenden bzw. in den höher liegenden Frequenzbereichen des Spektrums.

11. geschlossen (+)/offen (−)
geschlossene Phoneme sind im Gegensatz zu den entsprechenden offenen durch eine Schwächung ihrer Komponenten höherer Frequenz oder durch eine Verschiebung derselben zu niedrigeren Frequenzen hin gekennzeichnet.

12. spitz (+)/offen (−)
spitz klingende Phoneme sind im Unterschied zu den entsprechenden offen klingenden durch eine Verschiebung einiger ihrer oberen Komponenten zu höheren Frequenzen hin gekennzeichnet.

Schließlich sei noch an Hand von Bild 10 auf die Unterschiede der drei stimmlosen Reibelaute /f/, /s/ und /ʃ/ hingewiesen. Bei den Lauten dieser Gruppen kann man zwar nicht von ausgeprägten Resonanz- oder Formantbereichen sprechen, andererseits aber doch eine gewisse Strukturierung der Energiedichte in der Darstellung ihrer Zeitfrequenzspektren erkennen. G. W. Hughes und M. Halle haben daher ein Verfahren entwickelt, das durch wiederholte Bestimmung der Energiedichte innerhalb gewisser, vorher festgelegter und schrittweise eingeengter Frequenzbänder und durch gegenseitigen Vergleich dieser Energiedichten Aussagen über die charakteristischen Merkmale dieser Reibelaute zu machen gestattet [17].

Faßt man diese und noch einige weitere, phänomenologisch beschreibbare Sprachparameter zusammen, so erhält man nach R. Jakobson, G. Fant und M. Halle die in Tabelle II wiedergegebene Liste [7]. An Hand dieser Liste ist es möglich, die einzelnen Sprechlaute in ihren akustischen Eigenschaften nach einem ternären Code zu beschreiben. Wird bei dem zu erkennenden Laut ermittelt, daß das zur Erkennung herangezogene Merkmal vorhanden ist, so wird diese Aussage mit + bezeichnet, ist dagegen dieses Merkmal nicht vorhanden, so wird dies mit dem Zeichen — registriert. Die Tabelle II umfaßt insgesamt 12 sog. Entscheidungsmerkmale, von denen aber bereits 9 zur Beschreibung der hier betrachteten Laute ausreichen. Da auch diese 9 Merkmale naturgemäß nie alle gleichzeitig auftreten können, wird ihre Nichtbeteiligung durch das Symbol 0 gekennzeichnet. Tabelle III zeigt eine solche, aus Veröffentlichungen von R. Jakobson und W. Meyer-Eppler [3, 7] zusammengestellte Erkennungsmatrix für die Phoneme der deutschen Sprache und für einige charakteristische Laute der englischen Sprache. Man erkennt, daß keine Doppeldeutigkeit auftritt.

Die in Tabelle III aufgeführten 12 Entscheidungsmerkmale von Jakobson, Fant und Halle beschreiben im wesentlichen das, was der Mensch bei der Wahrnehmung von Einzellauten beobachtet oder empfindet. Sie müssen gewissermaßen als Resumé einer sich über zwei Jahrzehnte erstreckenden, intensiven experimentellen Forschungstätigkeit gewertet werden und zeigen zugleich, wie man experimentell vorgehen sollte, wenn man einen Spracherkennungsautomaten entwickeln will. Die Anzahl der zur Erkennung heranzuziehenden Entscheidungsmerkmale wird sich in jedem Falle nach dem Umfang des Wortvorrates und nach dem „phonetischen Verwandtschaftsgrad" zwischen den einzelnen Wörtern richten. Wenn der Wortvorrat auf nur wenige, getrennt angebotene Wörter beschränkt wird, ist es durchaus möglich, auch ganz andere als die angeführten Sprachparameter zur Erkennung heranzuziehen, wie zahlreiche Veröffentlichungen aus letzter Zeit lehren. So werden z. B. folgende Merkmale zur Lauterkennung herangezogen:

Bei stimmhaften Lauten: Auftreten einer Sprachgrundfrequenz, Auftreten von Resonanz- und Antiresonanzbereichen im Sprachspektrum. Parameter: Bandbreite der betreffenden Frequenz-

Tabelle III

Die Entscheidungsmerkmale
der die deutsche Hochsprache beschreibenden Phoneme, nach [3] und [7]

	stimmhafte Laute																							stimmlose Laute									
	Vokale											vokalähnliche Laute					Reibelaute				Explosivlaute			Reibelaute							Explosivlaute		
	i	I	e	ε	a	ɔ	o	ʊ	ø	y	ə	m	n	ŋ	l	R	v	ð	z	ʒ	b	d	g	f	Θ	s	ʃ	χ	j	h	p	t	k
vokalisch (+)/ nicht-vokalisch (−)	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	−	−	−	+	+	−	−	−	−	−	−	−	−	−	−	−	−	−	−	−	−	−
konsonantisch (+)/ nicht-konsonantisch (−)	−	−	−	−	−	−	−	−	−	−	−	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	−	+	+	+
kompakt (+)/diffus (−)	−	−	+	+	+	+	+	−	+	−	−	−	−	+	0	0	−	−	−	+	−	−	+	−	−	−	+	+	+	0	−	−	+
nasal (+)/oral (−)	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	+	+	+	0	0	−	−	−	−	−	−	−	−	−	−	−	−	−	0	−	−	−
dumpf (+)/hell (−)	−	−	−	−	+	+	+	+	−	−	+	+	−	+	0	0	+	−	−	0	+	−	+	+	−	−	−	0	0	0	+	−	+
geschlossen (+)/offen (−)	−	0	−	0	0	+	0	+	+	+	−	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
gespannt (+)/ ungespannt (−)	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	−	−	−	−	−	−	−	+	+	+	0	+	−	+	+	+	+
diskontinuierlich (+)/ kontinuierlich (−)	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	−	+	−	−	−	−	+	+	+	−	−	−	−	−	−	0	+	+	+
scharf (+)/weich (−)	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	−	0	+	0	0	0	+	−	+	0	0	0	0	−	−	0

bereiche, Frequenzangaben, relative Amplitudenwerte der jeweiligen Mittenfrequenz.

Bei Reibelauten: Auftreten breiter Resonanzbereiche. Parameter: Bandbreite der Resonanzbereiche, Lage der Frequenz-Schwerpunkte in diesen Bereichen.

Bei Explosivlauten: Auftreten von Sprechlücken und darauffolgendes impulsartiges Ansteigen der Sprechleistung. Parameter: Auftreten oder Fehlen einer Sprachgrundfrequenz in der Sprechpause.

c) Beschreibung einiger neuartiger Erkennungsverfahren

Allen auf dem Gebiet der Spracherkennung durchgeführten Versuchen ist bisher gemeinsam, daß die Anzahl der zu erkennenden Wörter sehr beschränkt ist. Als einfacher Wortvorrat bieten sich die zehn gesprochenen Zahlwörter „Null, Eins ... Neun“ an. Diese zehn Wörter stellen in jeder Sprache Einzelereignisse dar, ein sinngebundener Zusammenhang zwischen ihnen besteht nicht. Ferner darf angenommen werden, daß diese Zahlwörter alle mit gleicher Häufigkeit vorkommen. Dazu kommt, daß sie sich akustisch in einem für die menschliche Wahrnehmung ausreichenden Maße voneinander unterscheiden [5]. Dies gilt auch für einen Wortschatz, der um einige wenige, bei der Handhabung von Rechenautomaten übliche Befehlswörter erweitert wird. Man unterscheidet drei verschiedene Arten von Erkennungseinrichtungen, im folgenden kurz Erkenner genannt:

a) Merkmal-Erkenner, deren Aufgabe es ist, das Vorkommen oder Fehlen bestimmter Sprachmerkmale (oftmals in Übereinstimmung mit den in Tabelle III aufgeführten Merkmalen) zu ermitteln,
b) Phonem-Erkenner, die in der Lage sein müssen, die zu einer Gruppe gehörenden Phoneme voneinander unterscheiden zu können,
c) Wort-Erkenner, die aus der zeitlichen Folge des Auftretens bestimmter Sprachparameter oder — bei stark eingeschränktem Wortvorrat — aus dem Auftreten bereits eines einzigen Merkmals die einzelnen Wörter identifizieren sollen.

Bei der Entwicklung derartiger Erkennungsapparaturen hat sich der Einsatz von elektronischen Rechenmaschinen als außerordentlich vorteilhaft erwiesen. Es hat sich gezeigt, daß sich langwierige experimentelle Untersuchungen durch Simulierung von Sprachvorgängen weitgehend ersetzen lassen. Darüber hinaus wird die Rechenanlage auch mit in den Erkennungsprozeß eingeschaltet. Die linguistische und phonetische Forschung ist heute ohne die Verwendung dieses modernen Hilfsmittels gar nicht mehr denkbar.

Merkmal-Erkenner

Besondere Bedeutung kommt dem Merkmalspaar stimmhaft/stimmlos zu (Auftreten/Nicht-Auftreten einer quasiperiodischen Schwingung im Sprachsignal). Quasiperiodische Schwingungen sind dabei Oszillationen, deren Schwingungsdauer in mehreren aufeinanderfolgenden „Perioden“ annähernd konstant ist. Tritt eine in dieser Weise definierte Schwingung — im allgemeinen die sog. Sprachgrundschwingung — auf, so handelt es sich bei dem angebotenen Sprachsignal um einen stimmhaften Laut. Der Reziprokwert der „Periodendauer“ entspricht dann der Sprachgrundfrequenz, aus der wiederum auf Alter und Geschlecht der sprechenden Person geschlossen werden kann. Die letztgenannte Aussage ist irrelevant, wenn beispielsweise eine phonetische Schreibmaschine entwickelt werden soll, sie ist aber für eine automatische Sprecher-Erkennung und bei der Analyse-Synthese-Telephonie von Bedeutung (Abschnitt B).

---

[5] Zur besseren Unterscheidung wird anstelle des Zahlwortes „Zwei“ das Wort „Zwo“ gebraucht.

Die Entwicklung von Stimmhaft/stimmlos-Erkennern wird dadurch erleichtert, daß die Sprechdauer der einzelnen Laute länger ist als für die Erkennung unbedingt erforderlich, daß also die in der Lautdauer enthaltene Redundanz mit ausgenutzt werden kann [18].

In der Literatur sind zahlreiche Verfahren zur Erkennung dieses Merkmals beschrieben worden. Ein typisches Beispiel eines mit Hilfe eines Rechner-Programms arbeitenden Sprachgrundfrequenz-Erkenners ist der sog. Pitch-Extractor von B. Gold [19]: Die den Sprachvorgang beschreibenden Schallschwingungen werden dabei in analoge elektrische Signale umgewandelt. Ihr zeitlicher Verlauf wird punktweise mit einer Impulsfolgefrequenz von 10 kHz abgetastet. Diese Abtastfrequenz reicht aus, um die Haupt-Maximal- und -Minimalwerte des Schwingungsvorgangs mit genügender Genauigkeit erfassen zu können (Bild 11). Die Amplitudenwerte werden sodann quantisiert und im Binärcode in einen Rechner gegeben. Da in dem betrachteten Frequenzbereich (unterhalb 300 Hz) stimmhafte Laute höhere Amplitudenwerte haben als stimmlose, ist der Rechner in der Lage, nach Festlegung eines Amplituden-Schwellwertes stimmhafte Laute von stimmlosen zu trennen.

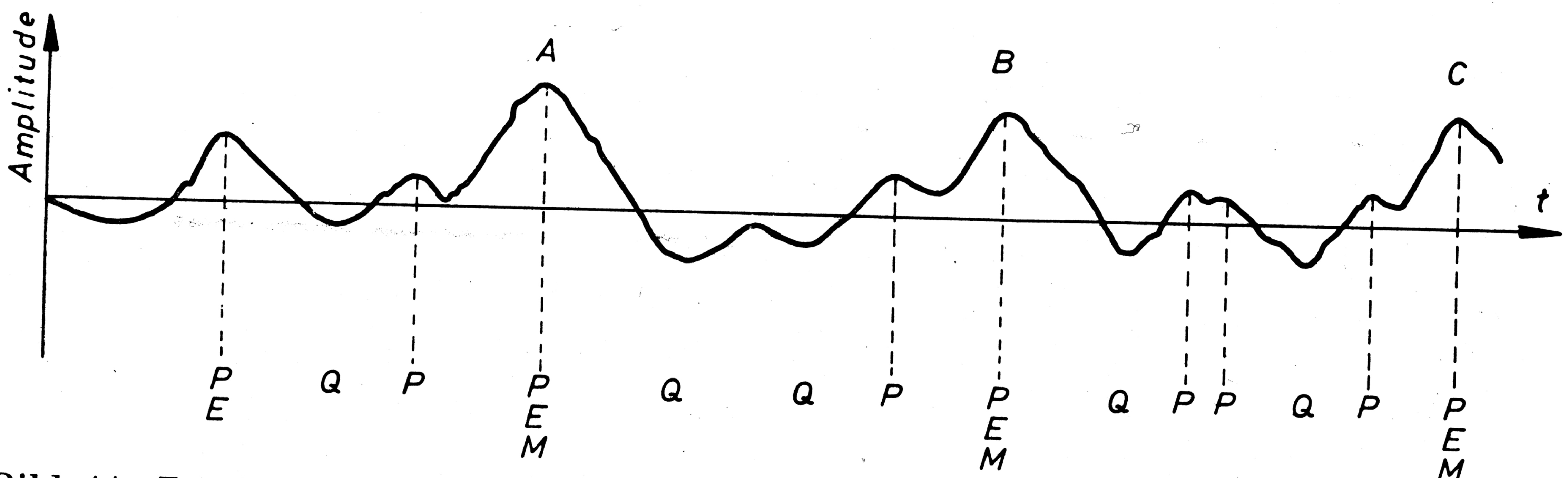


Bild 11. Zur Bestimmung der Merkmals-Eigenschaft „stimmhaft/stimmlos“ und der Sprachgrundfrequenz nach Gold [19]. Gleichartige Extremwerte sind durch gleichartige Codebuchstaben gekennzeichnet

Die anschließenden Rechenoperationen beschränken sich dann ausschließlich auf die Untersuchung der den stimmhaften Lauten zugeordneten Abschnitte des im Rechner gespeicherten Schallvorgangs nach einem dreistufigen Programm:

In einem vorbereitenden Programmschritt werden die positiven und negativen maximalen Amplitudenwerte erfaßt und diesen Werten bestimmte Codezeichen zugeordnet, die sich z. B. durch gegenseitigen Vergleich oder Vergleich mit Amplitudenwerten der höchsten Nebenmaxima ergeben. Sodann werden die zeitlichen Abstände zwischen jeweils fünf aufeinanderfolgenden, gleichartig gekennzeichneten positiven Amplitudenwerten (z. B. zwischen A, B, C usw. in Bild 11) ermittelt und diese Werte wiederum miteinander verglichen. Zeigt sich hierbei, daß diese Abstände annähernd gleich sind, so ist damit nachgewiesen, daß der untersuchte Schwingungsvorgang eine quasiperiodische Schwingung enthält.

Die zeitlichen Abstände dieser Maxima liefern die Sprachgrundfrequenz. Wenn die ermittelten Zeitwerte jedoch unterschiedlich sind, so wird der nächste, gleichartig gekennzeichnete Amplitudenwert in die Vergleichsoperation einbezogen und statt dessen der erste Vergleichswert fortgelassen, so daß die Anzahl der betrachteten Maximalwerte wiederum fünf beträgt. Auf diese Weise kann der gesamte Schwingungsvorgang untersucht werden. Falls diese Rechengänge nicht zur Festlegung eines Wertes für die Sprachgrundfrequenz führen, werden andersartig gekennzeichnete Amplitudenwerte ausgewählt und mit diesen die gleichen Rechenoperationen wiederholt, bis ein Wert für die Sprachgrundfrequenz gefunden ist.

Ein spezielles Verfahren zur Feststellung des Merkmalspaares „stimmhaft/stimmlos“ ist auch im Forschungsinstitut des Fernmeldetechnischen Zentralamts untersucht worden. Es ging hierbei insbesondere darum, eine solche Entscheidung auch dann treffen zu können, wenn durch die beim Fernsprechen notwendige Begrenzung des Sprachbandes die für die Bestimmung dieses Merkmals wesentliche Sprachgrundfrequenz fehlt. Zur Wiedergewinnung der Sprachgrundfrequenz aus dem auf die Bandbreite von 300 bis 3400 Hz begrenzten Sprachsignal wurde auf Vorschlag des Verfassers folgendes Verfahren angewendet:

Die den Schallvorgang darstellenden und auf die angegebene Bandbreite beschränkten elektrischen Schwingungen werden nach Verstärkung nichtlinear verzerrt. Falls es sich bei dem zugrunde liegenden Schallvorgang um einen stimmhaften Laut handelt, sind neben der Sprachgrundfrequenz auch deren Harmonische in größerer Anzahl vorhanden. Von diesen kommen noch genügend viele in dem eingeengten Frequenzbereich von 300 bis 3400 Hz vor, so daß es möglich ist, durch den Verzerrungsvorgang aus dem von den Harmonischen gebildeten Mischprodukt die Sprachgrundfrequenz zurückzugewinnen. Das verzerrte Signal durchläuft sodann ein Bandpaßfilter, dessen Grenzfrequenzen so festgelegt sind, daß die evtl. vorhandene Sprachgrundschwingung allein ausgesiebt wird. Es muß dann untersucht werden, ob es sich bei dem ausgesiebten Schwingungsvorgang um einen quasiperiodischen Vorgang (stimmhafter Laut) oder um einen nichtperiodischen Vorgang (stimmloser Laut) handelt.

Diese Feststellung läßt sich dadurch treffen, daß man die Zeitdauer einer Halbperiode mit der der nachfolgenden vergleicht. Hierzu bildet man nach Amplitudenbegrenzung mit Hilfe eines Integrationsgliedes während einer Halbperiode eine der Zeit proportionale, ansteigende positive Spannung und verkleinert diese wieder linear während der folgenden Halbperiode. Mit einer Vergleichsschaltung wird sodann geprüft, ob die Absolutbeträge der jeweils am Ende zweier aufeinanderfolgender Halbperioden verbleibenden Restspannungen des Integrationssystems oberhalb (stimmlos) oder unterhalb (stimmhaft) eines bestimmten Schwellwertes liegen (Bild 12).

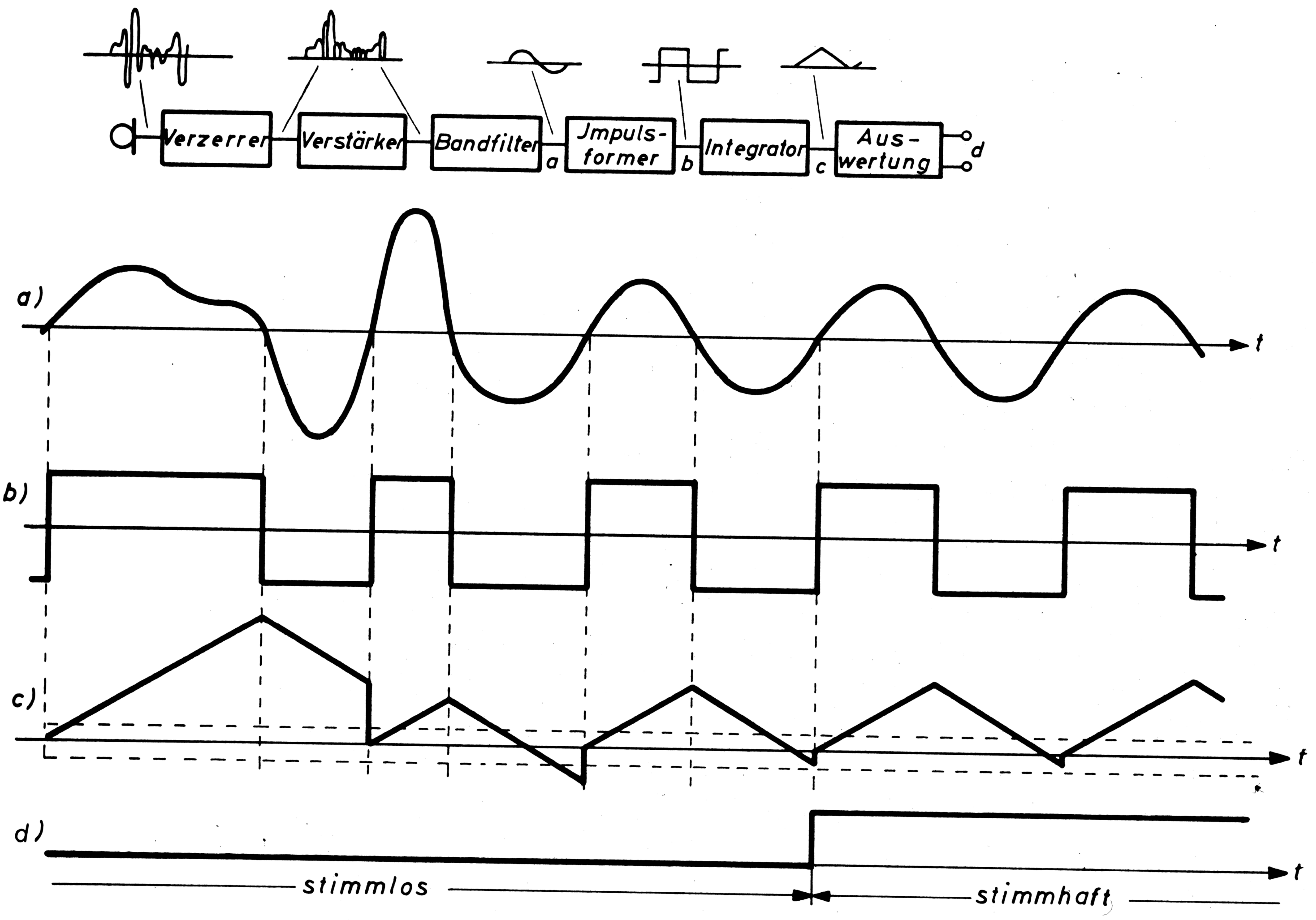


Bild 12. Verfahren zur Feststellung der Merkmalseigenschaft „stimmhaft/stimmlos". (Verfahren: Fernmeldetechn. Zentralamt Darmstadt)

Handelt es sich nämlich bei dem auf die Erkennungseinrichtung gegebenen Eingangssignal um stimmlos gesprochene Laute, so erhält man am Ausgang des Bandpasses eine unperiodische Schwingung, bei der die zeitlichen Abstände zwischen aufeinanderfolgenden Nulldurchgängen im Mittel größeren Schwankungen unterliegen als bei stimmhaft eingegebenen Sprechlauten. In diesem Falle wird der Schwellwert der Erkennungsschaltung überschritten, es wird also das Signal „stimmlos" ausgegeben. Das für dieses Verfahren benötigte Bandfilter hat eine untere Grenzfrequenz von 50 Hz, wodurch erreicht wird, daß die auszuwertende Schwingung symmetrisch zur Nullinie liegt. Die obere Grenzfrequenz wurde umschaltbar für männliche Sprecher auf 160 Hz, für weibliche Sprecher auf 300 Hz festgelegt.

Es ergab sich in Vorversuchen, daß bei Frauen- und Kinderstimmen im Mittel bei etwa 70 % aller angebotenen Laute die Entscheidung „stimmhaft/stimmlos" richtig getroffen werden konnte, wenn das Sprachfrequenzband in der angegebenen Weise eingeengt war ⁶).

---

6) Die Untersuchungen wurden in den Jahren 1964 und 1965 als Studien- und Diplom-Arbeiten der Technischen Hochschule Darmstadt von D. Runkel und R. Lunderstädt ausgeführt.

Schließlich soll noch auf ein neuartiges, von den Bell Telephone Laboratories in Murray Hill, N. J., USA, entwickeltes Verfahren zur Auffindung der Sprachgrundfrequenz hingewiesen werden, das auf folgenden Überlegungen basiert [20]:

Die Spektralfunktion eines Sprachvorganges $|F(\omega)|$ wird dadurch gebildet, daß das Spektrum $|S(\omega)|$ der Erregungsfunktion $s(t)$ der impulsartig schwingenden Stimmbänder mit der Spektralfunktion des Stimmbildungssystems $|V(\omega)|$ multipliziert wird nach der Gleichung

(1) $$|F(\omega)| = |S(\omega)|\,|V(\omega)|\,.$$

Zur Feststellung des Merkmalspaares stimmhaft/stimmlos und zur Bestimmung der Sprachgrundfrequenz ist es notwendig, Aussagen über $|S(\omega)|$ allein zu gewinnen. Dies kann man dadurch erreichen, daß man Gl. (1) logarithmiert; es ist also

(2) $$\log|F(\omega)| = \log|S(\omega)| + \log|V(\omega)|\,.$$

Da das Stimmbildungssystem ein Resonator mit bevorzugter Schallabstrahlung in den Formantfrequenzbereichen ist, treten dementsprechend auch im logarithmierten Spektrum normalerweise weit voneinander getrennte Resonanzfrequenzen auf. Wir nehmen ferner an, daß es sich bei den vom Kehlkopf erzeugten Schallvorgängen um eine näherungsweise periodische Folge von Einzelimpulsen handelt. Die Amplitude der Spektralfunktion eines aus zwei Einzelimpulsen zusammengesetzten Vorgangs ist gegeben durch die Gleichung

(3) $$|S(\omega)| = |S_T(\omega)|\,|1 + e^{-j\omega T}|\,.$$

Darin bedeutet T den Reziprokwert der Stimmbandgrundfrequenz, also den zeitlichen Abstand der beiden Einzelimpulse, und $S_T(\omega)$ die Spektralfunktion eines Einzelimpulses. Durch Logarithmieren von (3) ergibt sich

(4) $$\log|S(\omega)| = \log|S_T(\omega)| + \tfrac{1}{2}\log[1 + \cos(\omega T)]\,.$$

Der zweite Term auf der rechten Seite der Gl. (4) hat Maxima im Abstand von 1/T, d. h., der vom Kehlkopf hervorgerufene Schallvorgang hat auch im logarithmierten Spektrum als Funktion der Frequenz periodische Komponenten. Dehnt man das Beobachtungsintervall zeitlich aus, so werden die im Abstand 1/T beobachteten spektralen Spitzen besser hervorgehoben. Wenn man das logarithmierte Spektrum als Funktion der Frequenz einer Fourieranalyse unterwirft, so tritt als unabhängige Variable eine Größe mit der Dimension einer reziproken Frequenz, also einer Zeit, auf. Diese Variable wird daher in der hier zitierten Arbeit „Quefrency" genannt. Das logarithmierte Sprachspektrum besteht somit aus Komponenten hoher Quefrency, die durch periodische Erregung der Stimmbänder verursacht werden, und aus überlagerten Komponenten niedriger Quefrency, die sich aus der Formantstruktur der Sprache ergeben.

Wenn man das logarithmierte Spektrum praktisch als neues, spektral analysierbares Signal ansieht, dann kann man von einer Quefrency-Analyse sprechen. Eine derartige Analyse liefert das „Cepstrum", d. h. die Fouriertransformierte des logarithmierten Spektrums, bei der die Quefrency die unabhängige Variable ist. Die cepstrale Analyse eines

Spektrums macht dann Aussagen über die Amplituden der verschiedenen Quefrency-Komponenten, die im Spektrum vorkommen. Bei stimmhaften Lauten enthält das Cepstrum eine starke Spitze bei der Quefrency, die der Periode T der Sprachgrundfrequenz der Stimmbänder entspricht. Ist eine derartige cepstrale Spitze nicht feststellbar, so kann man schließen, daß es sich um ein stimmloses Sprachintervall handelt. Die cepstrale Analyse liefert also die Stimmbandgrundperiode sowie die Merkmale stimmhaft/stimmlos, und zwar bemerkenswerterweise auch dann, wenn die Stimmbandgrundschwingung, wie bei der Fernsprechübertragung, unterdrückt ist.

Die beschriebenen mathematischen Operationen wurden mit Hilfe einer Rechenanlage durchgeführt. Am Beispiel des englisch gesprochenen Wortes „chase" /tʃɛ͜iz/ zeigte sich, daß die Sprachgrundfrequenz des in diesem Wort vorkommenden Diphthongs /ɛ͜i/ von 108 auf 122 Hz ansteigt und damit sehr genau bestimmt werden kann. Es bleibt abzuwarten, ob es gelingt, Spracherkennungsapparaturen zu bauen, die in der Lage sind, das bisher nur mit dem Rechner simulierte Verfahren auch auf kontinuierlich zur Erkennung angebotene Sprachvorgänge anzuwenden.

Phonem-Erkenner

Beispiele für Phonem-Erkenner werden in zwei Veröffentlichungen von J. W. Forgie und C. D. Forgie beschrieben [21, 22]. In der ersten Arbeit wird über ein Verfahren zu Erkennung der zehn in der amerikanischen Umgangssprache gebräuchlichen Vokale berichtet. Hierbei wurden die Vokale jeweils zwischen die beiden Explosivlaute b und t, wie in beat, /bit/, oder bought, /bɔːt/, eingebettet. Das für die Analyse auswertbare Spektrum eines derartigen Wortes erstreckte sich bei den Versuchen von 115 bis 10 000 Hz und wurde auf 35 lückenlos aneinandergereihte Bandpaßfilter aufgeteilt. Die an den Ausgängen dieser Filter auftretenden Spannungen wurden sodann nach Gleichrichtung mit einer Impulsfolgefrequenz von 180 Hz nacheinander abgetastet, die Amplitudenwerte der Abtastungsspannungen in 2^7 Stufen quantisiert und digital verschlüsselt in einen Rechner eingegeben.

Da sich die einzelnen Vokale durch die unterschiedliche Lage ihrer Formantbereiche im Spektrum und durch die unterschiedlichen Maximalamplituden ihrer Mittenfrequenz auszeichnen, ließ sich in einem ersten Rechenschritt die Mittenfrequenz des Formanten F_1 einem von vier verschiedenen Frequenzgebieten zuordnen. Im zweiten Erkennungsschritt wurde die Bandmittenfrequenz des Formanten F_2 errechnet und jeweils einem von drei Frequenzbereichen zugeteilt. Anschließend wurden die genannten Lagen der beiden Formanten in den zuvor bestimmten Frequenzbereichen ermittelt. Da aber diese zweistufigen Entscheidungen normalerweise nicht zur Beseitigung von Doppeldeutigkeiten bei der Vokalerkennung ausreichen, wurden vom Rechner in der dritten und vierten Rechenstufe weitere Erkennungskriterien herangezogen, z. B. Frequenzangaben, durch die die Lage der Amplitudenminima und die mittleren Frequenzen der dritten Formanten im Spektrum beschrieben werden, sowie die mittlere Vokaldauer beim Sprechvorgang. Auf diese Weise ist es Forgie und Forgie gelungen, die eingegebenen, gut artikuliert gesprochenen Vokale mit einer Sicherheit von 93 % zu erkennen. Das benutzte Entscheidungsschema ist in Bild 13 wiedergegeben.

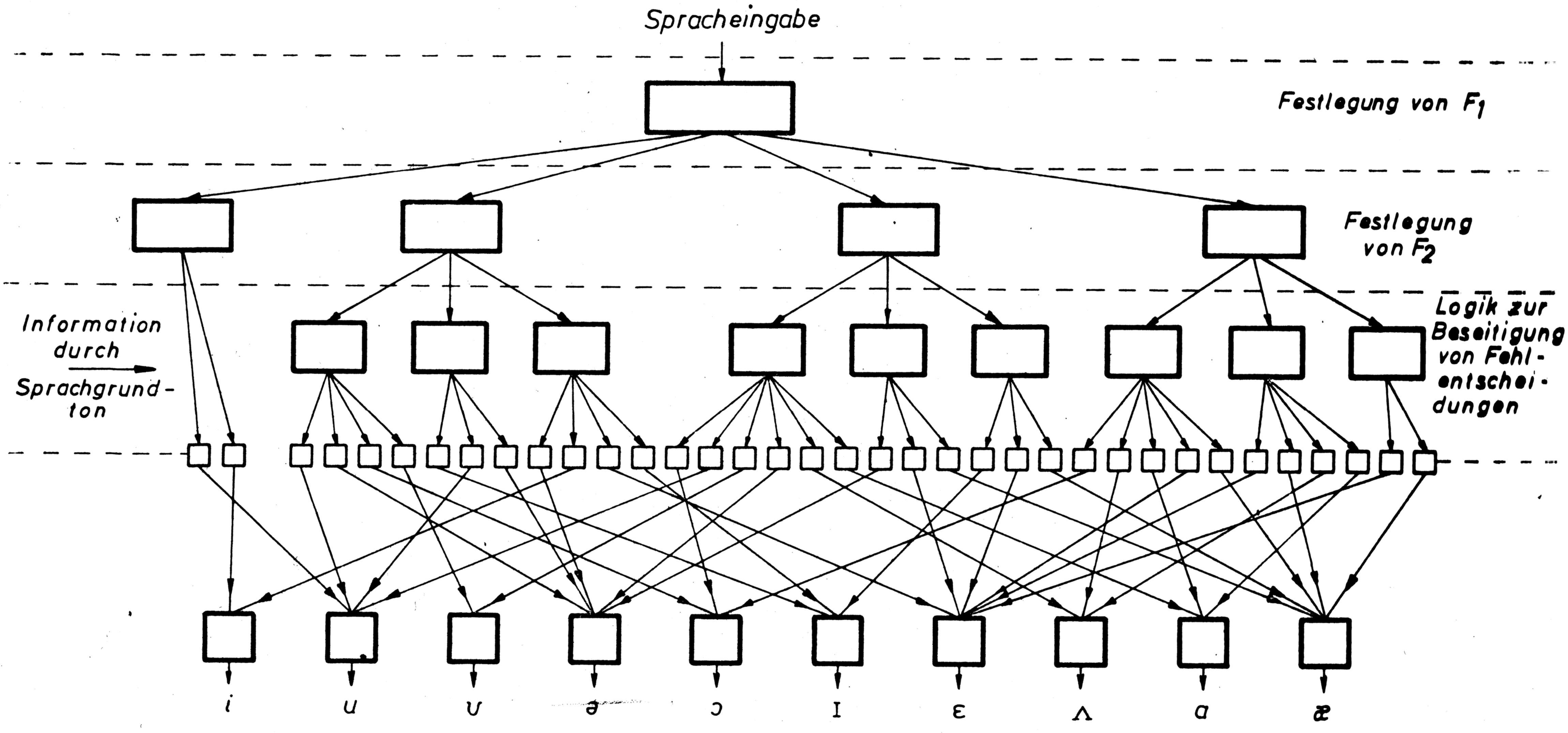

Spracheingabe
Festlegung von F_1
Festlegung von F_2
Logik zur Beseitigung von Fehlentscheidungen
Information durch Sprachgrundton
i
u
ʊ
ə
ɔ
ɪ
ɛ
ʌ
ɑ
æ

Bild 13. Entscheidungsschema von J. W. und C. D. Forgie. Zur Erkennung von Vokalen [21]

Von den gleichen Verfassern wurde auch versucht, die beiden Reibelaute /f/ und /θ/, als Anfangs- oder Endkonsonanten gesprochen, in ähnlicher Weise automatisch zu erkennen, obwohl bereits beim Menschen Erkennungschwierigkeiten auftreten können, wenn das zu erkennende Wort isoliert gesprochen wird. Daß diese Schwierigkeiten auftreten, ist verständlich, da sich die Spektren der beiden Konsonanten sehr ähneln. Eine Erkennung der beiden Laute mit Hilfe der Rechenanlage wurde dadurch erleichtert, daß statistische Daten mit in das Rechenprogramm aufgenommen wurden. Es zeigte sich, daß Reibelaute, am Ende eines Wortes gesprochen, recht gut automatisch erkannt werden konnten. Dagegen gelang es auf diese Weise nicht, Frikativlaute, die am Anfang eines Wortes stehen, eindeutig zu unterscheiden.

Wort-Erkenner

Alle bisher entwickelten Wort-Erkenner arbeiten nur unter der Voraussetzung zufriedenstellend, daß die Anzahl der zu erkennenden Wörter sehr klein ist und die einzelnen Wörter gut artikuliert und isoliert gesprochen werden. Ein von G. W. Hughes und M. Halle auf einem Rechner simuliertes Verfahren stellt eine Weiterentwicklung des von J. W. und C. D. Forgie entwickelten Verfahrens zur Phonemerkennung dar. Das Verfahren läßt sich auf folgende Weise erklären:

Das zu erkennende Wort wird zunächst in stimmhaft und stimmlos gesprochene Sprachabschnitte zerlegt. Dies gelingt dadurch, daß man die für stimmhafte und stimmlose Laute unterschiedliche Verteilung der Energie im oberen Teil des Sprachspektrums als Erkennungskriterium ausnutzt. Bei der Untersuchung der als stimmhaft erkannten Sprachsegmente wird unter Zuhilfenahme des Forgie-Rechenprogramms die spektrale Lage der Formanten ermittelt. Die Trennung der einzelnen Phoneme geschieht dadurch, daß der Schallvorgang des zu erkennenden Wortes in Zeitabschnitte von etwa 40 ms Dauer zerlegt wird. Zur Markierung der Phonemgrenzen wird vom Rechner sodann festgestellt, in welchem Maße sich der Schalldruckpegel in aufeinanderfolgenden Sprachabschnitten ändert. Derjenige Abschnitt, in dem die Pegeländerung einen bestimmten Schwellwert überschreitet, kennzeichnet eine Phonemgrenze. Eine Klassifizierung der als stimmlos erkannten Phoneme in Reibe-, Rachen- und Explosivlaute gelingt, wenn weitere besondere spektrale Eigenschaften dieser Lautgruppen ausgenutzt werden [23, 24] (Abschnitt A. IV. 1. b).

Bei den von Hughes und Halle durchgeführten Versuchen bestand der zu erkennende Wortschatz aus insgesamt 70 Wörtern, die von 15 Personen gesprochen waren. Die Testwörter waren so ausgesucht worden, daß jeder in der englischen Sprache vorkommende Vokal in möglichst vielen verschiedenen Wörtern vorkam. Nach Angabe der Verfasser betrug die Erkennungssicherheit 90 bis 95 %. Als Fehlerquellen werden Imponderabilien bei der Spracherzeugung (z. B. zeitweiliger Rückgang der Sprachenergie im Bereich des zweiten Formanten) und Schwierigkeiten bei der Aufstellung der Rechenprogramme angegeben, die auf die unvollkommene Kenntnis der gegenseitigen Abhängigkeiten der akustischen Sprachparameter zurückzuführen sind.

Nach einem ganz anderen Verfahren arbeitet ein von Denes und Mathews entwickelter Worterkenner [25]. Bei diesem Verfahren werden die von verschiedenen Sprechern gesprochenen und zu erkennenden zehn Zahlwörter „zero“ („oh“) bis „nine“ zunächst auf Tonband gespeichert. Die bei der Wiedergabe entstehenden, den Sprachschwingungen analogen elektrischen Schwingungen werden sodann über eine mit 17 Bandpaßfiltern ausgestattete Filterbank geschickt, und die an den Ausgängen dieser Filter auftretenden Spannungswerte nach Gleichrichtung abgetastet, digitalisiert und in einen Rechner eingegeben. Auf diese Weise läßt sich für jedes gesprochene Wort das zugehörige Zeitfrequenzspektrum gewinnen. Aus den Zeitfrequenzspektren des gleichen, aber von verschiedenen Sprechern gesprochenen Wortes bildet der Rechner ein gemitteltes, als Norm anzusehendes Zeitfrequenzspektrum. Es werden also insgesamt zehn zusätzlich noch auf eine bestimmte Wortdauer normierte Musterspektren hergestellt, die dazu dienen, innerhalb gewisser Grenzen andere gesprochene Zahlwörter zu erkennen. Dies geht so vor sich, daß nach einer ebenfalls vom Rechner auszuführenden Normung der Sprechdauer das Zeitfrequenzspektrum des zu erkennenden, neuen Wortes mit allen normierten Zeitfrequenzspektren korreliert wird. Man erhält dann insgesamt zehn Korrelationskoeffizienten verschiedener Größe. Es wird angenommen, daß das gesprochene Zahlwort demjenigen Normwort entspricht, dessen Spektrum mit dem Spektrum des gesprochenen Wortes den größten Korrelationskoeffizienten liefert. Von den Verfassern wird angegeben, daß die Erkennungssicherheit der Apparatur günstigstenfalls etwa 94 % beträgt, wenn sowohl die zu erkennenden Wörter als auch die Bezugswörter von Sprechern des gleichen Geschlechts gesprochen werden. Sie sinkt bereits auf 87 %, wenn auf eine Normierung der Wortdauer verzichtet wird. Wenn jedoch die zu erkennenden Wörter von Männern und Frauen gesprochen werden, fällt sie auf Werte unter 75 % ab.

Bei dem ersten der beiden hier zitierten Verfahren ist eine Wortidentifikation nur über den Umweg einer zuvor durchgeführten Phonemerkennung und der Bestimmung der zeitlichen Reihenfolge des Auftretens der einzelnen Laute möglich. Dagegen werden bei dem zweiten Verfahren die Merkmale der einzelnen Phoneme grundsätzlich nicht zur Erkennung herangezogen, sondern nur bestimmte Unterschiede der die einzelnen Wörter charakterisierenden Spektren ausgenutzt. Es soll nun noch auf zwei weitere Verfahren hingewiesen werden, mit deren Hilfe es zwar ebenfalls möglich ist, die zu erkennenden Wörter jeweils als Ganzes zu identifizieren, bei denen aber auf die Erkennung bestimmter akustischer Merkmale von Lautklassen zurückgegriffen wird. Dabei muß die experimentell so außerordentlich schwer zu realisierende Segmentierung nicht durchgeführt werden.

Bei einem im Institut für Phonetik und Kommunikationsforschung der Universität Bonn entwickelten Verfahren [26] wurde davon ausgegangen, daß sich die akustischen Signale, durch die die einzelnen Wörter physikalisch beschrieben werden, so voneinander unterscheiden, daß es möglich ist, jeweils eine Klasse von Signalen zu finden, in der ein bestimmtes Merkmal mit Sicherheit vorkommt, und eine komplementäre Klasse zu bestimmen, in der dieses Merkmal nicht nachgewiesen werden kann. So gibt es z. B. stets eine Klasse von Wörtern, in der das Merkmal eines Explosivlautes im akustischen Signal nachweisbar ist, und eine aus den übrigen Wörtern gebildete Klasse, auf die dies nicht zutrifft. Die Aufgabe besteht dann darin, eine so große Anzahl apparativ erkennbarer Wortparameter zu finden, daß durch wiederholte Anwendung dieses Dichotomie-Verfahrens alle Wörter identifiziert werden können. Dabei wird angestrebt, nur solche Merkmale zur Erkennung heranziehen, die gegenüber den individuell unterschiedlichen Sprecheigenschaften der einzelnen Sprecher invariant sind. Der nach diesem Verfahren arbeitende Worterkenner trägt die Bezeichnung DAWID I[7]) und kann folgende 20 der italienischen Sprache entnommenen Wörter, von männlichen und weiblichen Personen gesprochen, erkennen:

zero
uno
due
tre

quattro
cinque
sei
sette

otto
nove
pui
meno

per
divido
punto
virgola

uguale
totale
pausa
dacapo

Die Erkennung der einzelnen Wörter gelingt, wenn fünf Merkmalsdetektoren in bestimmter Weise auf den angebotenen Schallvorgang

---

7) *D*evice for *A*utomatic *W*ord *I*dentification and *D*iscrimination.

ansprechen und jeweils eine von zwei möglichen Entscheidungen treffen. Es sind dies

1. der Explosivlaut-Detektor. Er stellt fest, ob und wie oft im Sprachablauf des zu erkennenden Wortes eine Sprechlücke vorkommt,
2. der stimmhaft-Detektor. Er besteht im wesentlichen aus einem Bewertungfilter, dessen obere Grenzfrequenz bei 400 Hz liegt und dessen Dämpfungsverlauf so eingestellt ist, daß bei Auftreten eines stimmhaften Lautes eine Anzeige erfolgt,
3. der Frikativ-Detektor,
4. der /a/-Detektor und
5. der /e, i/-Detektor.

Die Arbeitsweise des Frikativ-Detektors läßt sich wie folgt erklären: Trägt man eine Sprachschwingung als Zeitfunktion auf, so erkennt man — beispielsweise an Hand der Bilder 5a und 5b — zwischen stimmhaften und stimmlosen Lauten folgenden Unterschied:

Der Schwingungsverlauf von stimmhaften Lauten ist nahezu periodisch und zeigt innerhalb gleicher Zeitabschnitte eine erheblich geringere Anzahl von Nulldurchgängen als der unperiodische Schwingungsverlauf, der einen Frikativlaut darstellt. Aufgabe des Merkmalsdetektors ist es, die Nulldurchgangsdichte zu bestimmen und die Anzeige zu treffen: Frikativlaut, wenn mehr als 4000 Nulldurchgänge je Sekunde gezählt werden.

Wie schon verschiedentlich ausgeführt, unterscheiden sich die einzelnen Vokale in charakteristischer Weise durch die Lage ihrer Formantbereiche im Sprachspektrum voneinander. Aus der schematischen Darstellung in Bild 6 erkennt man, daß der erste Formant bei den sog. /a/-Lauten die höchste Frequenz hat, während die Frequenzen des zweiten Formanten bei den /e, i/-Lauten einen Maximalwert erreichen. Da die Nulldurchgangsdichte ϱ_0 der Frequenz proportional ist, wird im sog. /a/-Detektor die Nulldurchgangsdichte des auf 1500 Hz bandbegrenzten Signals ermittelt und das Eintreffen des Merkmals registriert, wenn mehr als 1000 Nulldurchgänge/sec ermittelt werden. Die Frequenz des zweiten Formanten ist dagegen weitgehend der Dichte ϱ'_0 des differenzierten Signals proportional. Überschreitet ϱ'_0 einen bestimmten Schwellwert, so stellt der Merkmalsdetektor 5) fest, daß ein zur Gruppe der /e, i/-Laute gehörendes Phonem im Sprachsignal vorhanden ist. Die von den Merkmalserkennern ausgegebenen Binärsignale treten entweder allein oder in bestimmten Kombinationen auf, schließen sich aber teilweise gegenseitig aus. Sechs verschiedene Kombinationen reichen zur Bezeichnung eines einzelnen Wortabschnitts und — unter Berücksichtigung der zeitlichen Folge, in der diese Kombinationen auftreten — zur Erkennung der 20 verschiedenen Wörter aus.

Weiterhin soll über die Arbeitsweise eines Spracherkennungsgerätes berichtet werden, das von W. C. Dersch bei der Firma IBM, USA, entwickelt wurde [27, 28] und in der Lage sein soll, insgesamt 16 verschiedene Wörter automatisch zu erkennen, unabhängig von Geschlecht und Alter der sprechenden Person. Da der Apparat nicht größer ist als eine Schuhschachtel, wurde er „Shoebox“ genannt und unter dieser Bezeichnung auch in der Fachliteratur bekannt.

Der zur Erkennung angebotene Wortschatz umfaßt die gesprochenen Ziffern 0 . . . 9 und die in der Rechenmaschinentechnik üblichen Befehlswörter „plus, minus, subtotal, total, false und off“, alle Wörter in amerikanischer Umgangssprache gesprochen. Das Verfahren beruht im wesentlichen auf der von Dersch beobachteten Erscheinung, daß die voneinander subtrahierten positiven und negativen Hüllkurven der den Sprachschwingungsverlauf darstellenden Zeitfunktionen bei den Vokalen eine Verschiebung gegenüber der Nullachse aufweisen, die bei den stimmlosen Lauten nicht feststellbar ist. Ein Beispiel für diese auf Phasenverschiebungen zwischen den einzelnen Schwingungskomponenten beruhende Unsymmetrie zeigt Bild 14, und zwar im oberen Teil den Schwingungsverlauf des Wortes „Fische“ /fɪʃə/, im unteren Teil die resultierende Hüllkurve, die bei den stimmhaften Lauten eine deutlich sichtbare Auslenkung aus der Nullage besitzt. Das Gerät kann also auf diese Weise stimmhafte Laute von stimmlosen Lauten trennen und die Reihenfolge ihres Auftretens registrieren. Um in Übereinstimmung mit der von Dersch getroffenen Bezeichnungsweise zu bleiben, werden die stimmhaften Laute „Maschinenvokale“, die stimmlosen Laute „Maschinenkonsonanten“ und die zu untersuchende Silbe „Maschinensilbe“ genannt.

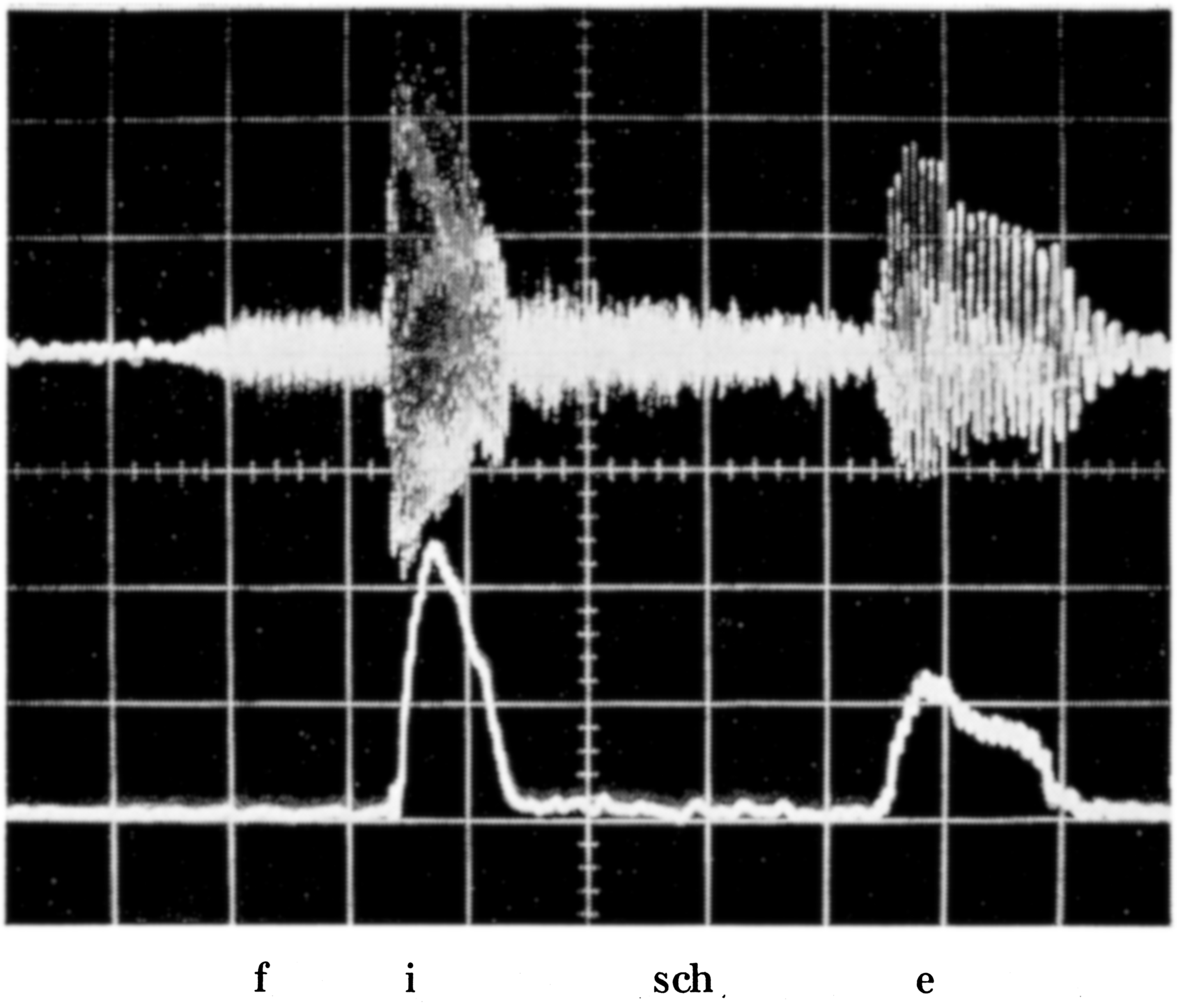
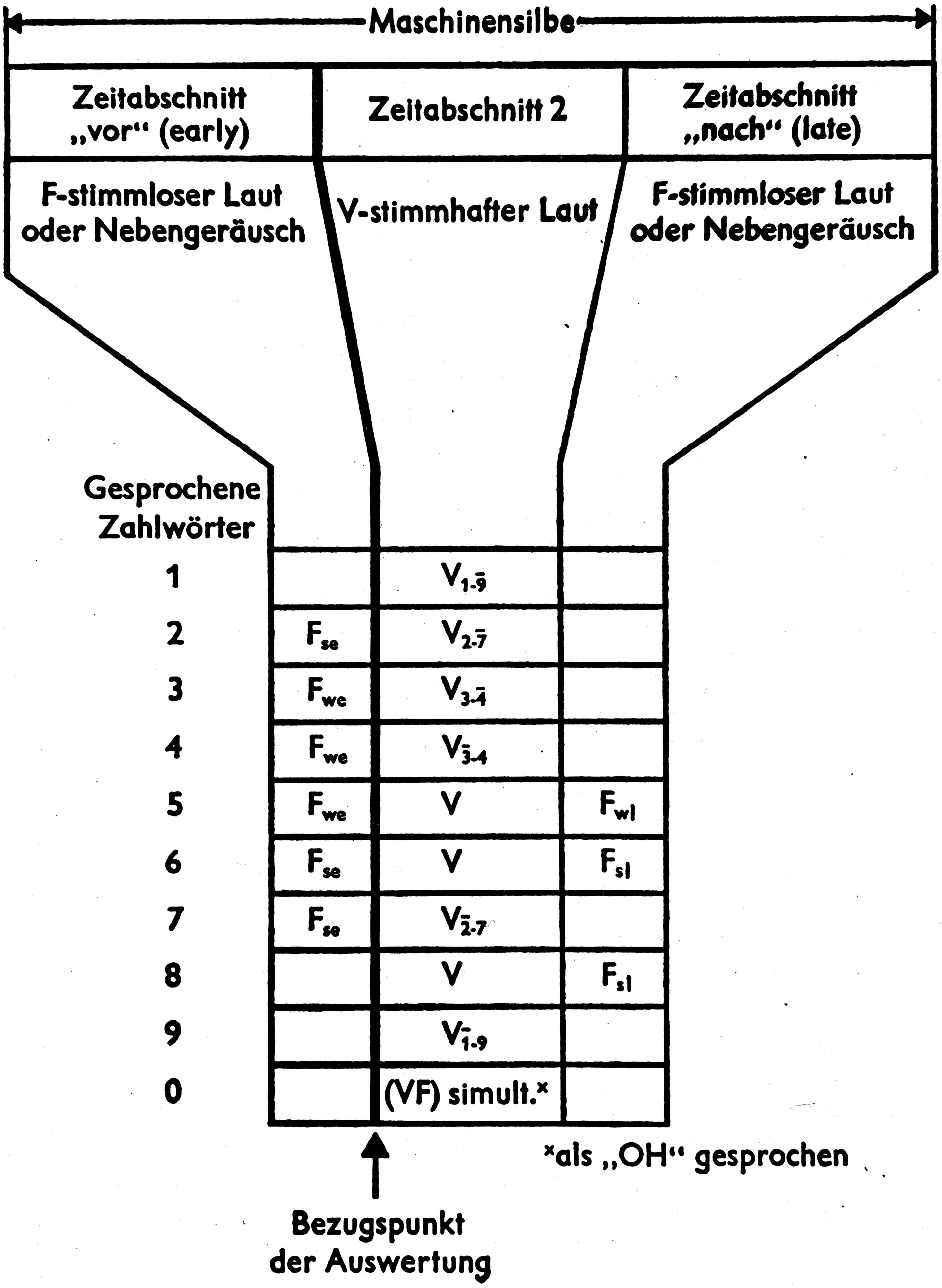


Bild 14.
Zum Wort-Erkennungsverfahren von W. C. Dersch.
Oben: Oszillogramm des Wortes „Fische“, unten: resultierende Hüllkurve

Bei dem von Dersch entwickelten Verfahren ist es nicht notwendig, zur Identifizierung das ganze Wort einer Sprachanalyse zu unterwerfen; es genügt bereits, wenn die Untersuchungen jeweils auf einen bestimmten definierbaren Wortabschnitt beschränkt werden. Zeitlicher Bezugspunkt für den Beginn der Auswertung ist stets der Beginn des ersten Vokals, da dieser im allgemeinen exakter erfaßt werden kann als ein Wortanfang. Zur Erkennung werden jedoch auch die diesem Maschinenvokal vorausgehenden und nachfolgenden Maschinenkonsonanten mit herangezogen, wobei zusätzlich ermittelt wird, ob diese Laute hart oder weich gesprochen werden. Schließlich lassen sich zur Kennzeichnung der Wörter noch gewisse spektrale Unterschiede der einzelnen Vokale heranziehen. Damit erhält man das in Bild 15


Maschinensilbe
Zeitabschnitt „vor“ (early)
Zeitabschnitt 2
Zeitabschnitt „nach“ (late)
F-stimmloser Laut oder Nebengeräusch
V-stimmhafter Laut
F-stimmloser Laut oder Nebengeräusch
Bezugspunkt der Auswertung

Gesprochene Zahlwörter			
1		$V_{1-\bar{9}}$	
2	F_{se}	$V_{2-\bar{7}}$	
3	F_{we}	$V_{3-\bar{4}}$	
4	F_{we}	$V_{\bar{3}-4}$	
5	F_{we}	V	F_{wl}
6	F_{se}	V	F_{sl}
7	F_{se}	$V_{\bar{2}-7}$	
8		V	F_{sl}
9		$V_{\bar{1}-9}$	
0		(VF) simult.ˣ	

ˣals „OH“ gesprochen

Bild 15. Der für den Worterkenner von W. C. Dersch gültige Wortcode, nach [27] (Englische Zahlwörter in amerikanischer Umgangssprache)

angegebene Codierschema für die gesprochenen Ziffern 0 bis 9. In diesem Schema bedeuten: F = Maschinenkonsonant, V = Vokal oder vokalähnlicher Laut (Maschinenvokal), Index w (weak) = weicher Lauteinsatz, s (strong) = harter Lauteinsatz, e (earlier) = Reibelaut zeitlich vor Vokal, l (later) = Reibelaut zeitlich nach Vokal. Die am Vokalsymbol V angebrachten Indizes geben die Ziffern an, zwischen denen auf Grund der genannten Vokalanalyse entschieden wird. So bedeutet z. B. $V_{3-\bar{4}}$, daß in dem untersuchten Wort der Vokal /i/ aus „three“, nicht aber der Vokal /ɔ/ aus „four“ vorkommt. Die wesentlichen Baueinheiten der Erkennungsapparatur zeigt schematisch Bild 16. Aus den vorliegenden Veröffentlichungen geht hervor, daß das Gerät bewußt mit einem Minimum an Schaltaufwand gebaut wurde (es soll nur 31 Transistoren enthalten) und dennoch unempfindlich gegenüber Änderungen der Sprachgrundfrequenz ist. Bei 500 Testversuchen soll in 94 % aller Fälle eine richtige Anzeige erfolgt sein. Voraussetzung für die Anwendbarkeit dieses Verfahrens ist, daß die niederfrequenten Anteile des Sprachspektrums zur Auswertung zur Verfügung stehen. Bei einem auf Telephonbandbreite beschränkten Sprachsignal versagt das Verfahren, wie auch durch eigene Versuche festgestellt worden ist.

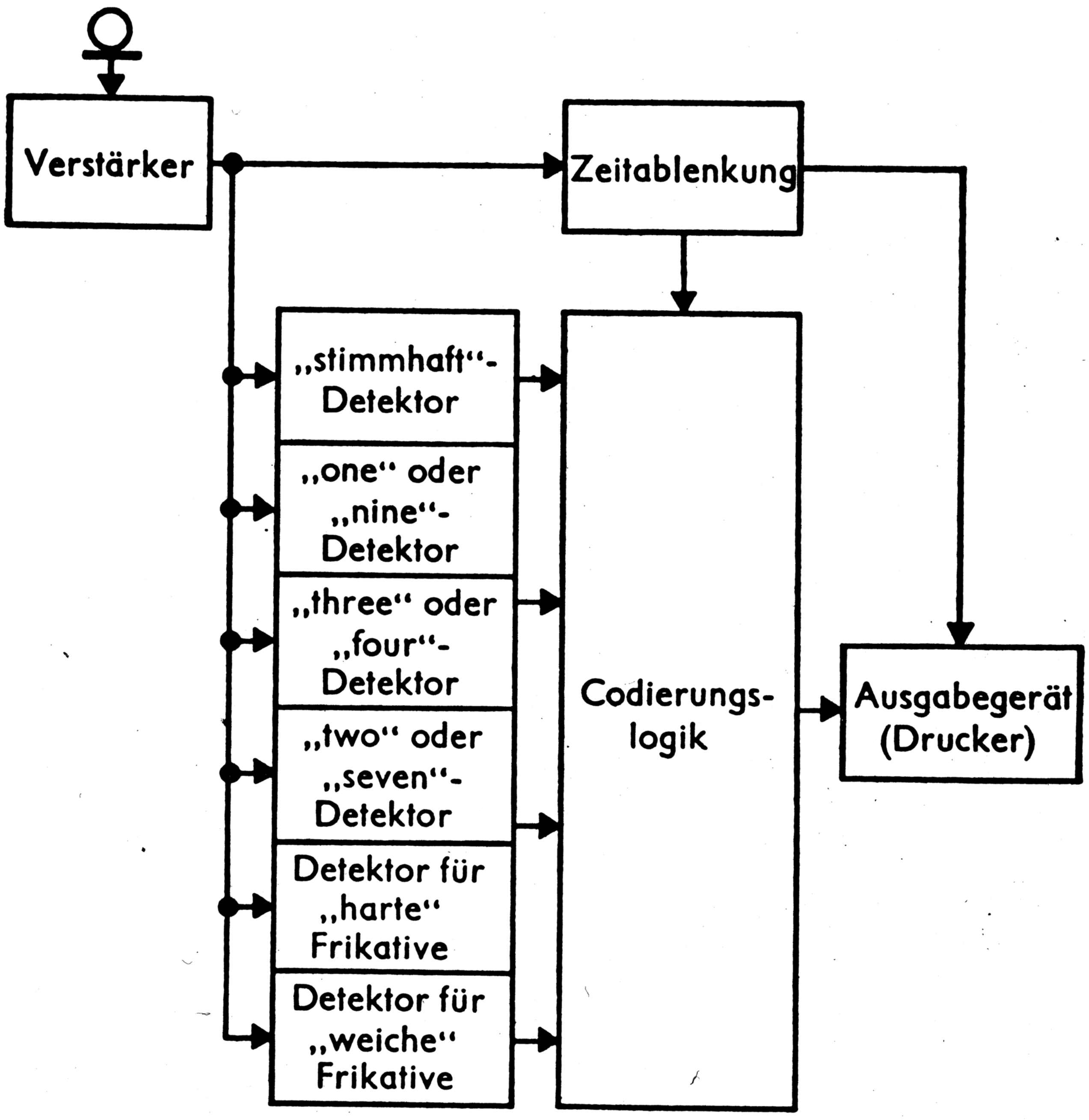

Verstärker
Zeitablenkung
„stimmhaft“-Detektor
„one“ oder „nine“-Detektor
„three“ oder „four“-Detektor
„two“ oder „seven“-Detektor
Detektor für „harte“ Frikative
Detektor für „weiche“ Frikative
Codierungs-logik
Ausgabegerät (Drucker)

Bild 16.
Blockschaltbild des Worterkenners von W. C. Dersch, nach [28]

Seit dem Jahre 1963 werden nach Vorschlägen des Verfassers auch im Fernmeldetechnischen Zentralamt Untersuchungen zur automatischen Erkennung gesprochener Ziffern durchgeführt. Hierbei werden aus dem Sprachfrequenzband drei Teilfrequenzbänder herausgegriffen, deren Bandmittenfrequenzen so liegen, daß sich die unterschiedlichen akustischen Eigenschaften von stimmhaften Lauten, von Reibe- und von Zischlauten erfassen lassen. Nach Normierung der Lautstärke wird festgestellt, ob und in welcher zeitlichen Reihenfolge die Sprachenergie in den einzelnen Kanälen bestimmte Schwellwerte überschreitet. Sämtliche Überschreitungen kommen getrennt zur Anzeige, zur Erkennung werden jedoch nur diejenigen am Wortbeginn und am Wortende ausgenutzt. Man kann so individuelle Unterschiede in der Aussprache weitgehend eliminieren.

Mit diesem zunächst nur sehr einfachen Verfahren lassen sich (auch bei verschiedenen Sprechern) sieben von zehn Zahlwörtern unterscheiden, wenn zur Vermeidung von Verwechslungen „Zwo“ statt „Zwei“ und „Zero“ statt „Null“ gesprochen wird. Durch Berücksichtigung weiterer Kriterien, etwa der Pause vor einem Explosivlaut, läßt sich die Erkennung verbessern. Im Jahre 1965 ist von Kusch [29] ein Verfahren angegeben worden, das in ähnlicher Weise zur Erkennung der zehn Zahlwörter einige relativ leicht zu gewinnende charakteristische Wortmerkmale ausnutzt.

d) Beurteilung der bisher vorliegenden Ergebnisse

Die vier im Abschnitt A. IV. 1. c) beschriebenen, nach recht unterschiedlichen Verfahren arbeitenden Worterkenner sind — den vorliegenden Veröffentlichungen zufolge — in der Lage, 10 bis 20 isoliert gesprochene Wörter mit einer mittleren Fehlerrate von etwa 6 bis 7 % je Wort zu erkennen, wenn die Wörter gut artikuliert, etwa mit gleicher Geschwindigkeit und bei annähernd gleicher Stimmtongrundfrequenz gesprochen werden. Diese Fehlerrate steigt — bei den verschiedenen Verfahren unterschiedlich — auf 13 bis 25 %, wenn man von der Forderung, eine bestimmte Sprechdisziplin einzuhalten, abgeht und Sprecher verschiedenen Geschlechts zugelassen werden. Etwa die gleichen Ergebnisse findet man auch bei einer Reihe weiterer, hier nicht beschriebener Geräte [8]). Dagegen stellt man fest, daß der apparative Aufwand bei den einzelnen Verfahren sehr unterschiedlich ist.

Für einen technisch brauchbaren Einsatz derartiger Geräte ist es notwendig, die Erkennungssicherheit erheblich über das bisher erreichte Maß zu steigern. Dann aber bestehen bereits mehrere, durchaus diskutable Anwendungsmöglichkeiten, und zwar auch dann, wenn der Wortschatz nur die zehn gesprochenen Zahlwörter 0 . . . 9 umfaßt. So könnte beispielsweise der bei jedem Fernsprechapparat heute noch erforderliche Nummernschalter fortfallen und statt dessen zentral ein Spracherkennungsgerät eingesetzt werden, dessen Aufgabe darin bestehen müßte, nach einwandfreier Erkennung der der Reihe nach angebotenen gesprochenen Ziffern die gleichen Schaltoperationen zu steuern, wie sie von dem mechanisch arbeitenden Nummernschalter ausgeführt werden. Für eine zehnstellige Rufnummer beträgt aber bei Einsatz beispielsweise einer Shoebox die Erkennungssicherheit z. Z. nur etwa 54 %, wenn man die Erkennungssicherheit für das einzelne Zahlwort mit 94 % ansetzt.

Eine wesentliche Erhöhung der Erkennungssicherheit läßt sich zweifellos nicht allein durch Vergrößerung des apparativen Aufwandes, sondern wahrscheinlich nur durch gleichzeitige Verbesserung des Erkennungsverfahrens erreichen. In diesem Zusammenhang sei auf eine Arbeit des Verfassers verwiesen [30], in der gezeigt wird, daß die Schwierigkeiten bei der automatischen Erkennung von Schriftzeichen nicht geringer sind als die bei der Erkennung der Sprache, und daß sowohl in der Methodik der Erkennungsverfahren als auch in den bisher vorliegenden Ergebnissen gewisse Übereinstimmungen vorhanden sind. Ein solcher Vergleich ist nur möglich, wenn gleichwertige Elemente — z. B. isoliert gesprochene Laute und isoliert geschriebene Buchstaben — miteinander verglichen werden. Es ergab sich, daß der scheinbare, durch das Auflösungsvermögen des Auges bestimmte Informationsgehalt eines Schriftzeichens in der gleichen Größenordnung liegt wie der scheinbare, durch die Empfindlichkeit des Ohres festgelegte Informationsgehalt eines Phonems. Darüber hinaus läßt sich leicht ausrechnen, daß der wahre, von Redundanz befreite Informationsgehalt je Laut bzw. je Schriftzeichen — unter der Voraussetzung jeweils gleichwahrscheinlichen Auftretens — ebenfalls annähernd gleich ist. Bei den Versuchen, Zeichen (im allgemeinsten Sinne) automatisch zu erkennen, ist man im Grunde ausschließlich bestrebt, diejenigen Zeichenelemente ausfindig zu machen, durch die die Bedeutung des Zeichens und damit sein wahrer Informationsgehalt festgelegt ist.

---

[8]) Berichte über günstigere Ergebnisse sollten nur mit großer Zurückhaltung beurteilt werden!

2. Der Sprachvorgang als linguistisches Ereignis

Die wenigen im vorigen Abschnitt beschriebenen Verfahren und Geräte zur automatischen Spracherkennung lassen übereinstimmend erkennen, daß mit ihnen die gestellte Aufgabe, beliebig gesprochene Wörter, Wortverbindungen und Sätze automatisch zu erkennen, allein durch Anwendung akustischer Hilfsmittel nicht befriedigend gelöst werden kann. Damit erheben sich die beiden Fragen:

a) Warum sind diese Ergebnisse so unbefriedigend?
b) Wird es möglich sein, durch Hinzunahme weiterer Erkennungsparameter die Anzahl der erkennbaren Wörter wesentlich zu vergrößern?

Eine erschöpfende Beantwortung dieser beiden Fragen ist heute noch nicht möglich. Immerhin läßt sich hierzu folgendes sagen:

Zu a) Die auffallende Diskrepanz zwischen dem Erkennungsvermögen des Menschen und dem aller heute existierenden Automaten beruht mit großer Wahrscheinlichkeit darauf, daß den bisher allein betrachteten akustischen Signalen nicht all die Eigenschaften anhaften, die der Mensch auf Grund seiner Spracherfahrung in das Signal hineinlegt. Dies geht z. B. daraus hervor, daß man bei der Sprachsynthese die Frequenzschwerpunkte der charakteristischen Spektren der drei stimmlosen Explosivlaute /p/, /t/, /k/ so verschieben kann, daß die Spektren dieser Laute kontinuierlich ineinander übergehen, während der Mensch nur insgesamt drei verschiedene, scharf abgegrenzte Explosivlaute erkennt.

Wie schon in der Einleitung zu diesem Abschnitt betont, wissen wir über den eigentlichen Spracherkennungsvorgang nur sehr wenig. Bevor aber nicht bekannt ist, wie der Mensch Sinneseindrücke, insbesondere die Sprache, wahrnimmt und verarbeitet, dürfte es auch nicht möglich sein, Automaten zu bauen, die mit den gleichen Eigenschaften ausgestattet sind wie der Mensch. In jüngster Zeit sind mehrere Theorien aufgestellt worden, die den Vorgang der menschlichen Sprachwahrnehmung zu erklären suchen. Die bedeutendste dieser Theorien, die sog.

Motor-Theorie, wurde in den Haskins Laboratorien, New York, entwickelt [31]. Sie sagt aus, daß zwischen der Sprachwahrnehmung und der Spracherzeugung ein enger Zusammenhang — eine Art Rückkopplung bestehen muß, etwa der Art, daß bei der Sprachwahrnehmung auch die Sprechorgane artikulatorische Bewegungen ausführen, und zwar genau diejenigen, die notwendig sind, um die wahrgenommenen Laute auch zu produzieren [9]. Dies wiederum heißt, daß der Mensch nur solche Schalleindrücke als Sprechlaute wahrnimmt, die er selbst mit Hilfe seiner Artikulationsorgane auch erzeugen kann. Der als Sprache wahrgenommene Schall muß also das motorische Nervenzentrum anregen, was wiederum nur möglich ist, wenn im Gedächtnis des Menschen abstrakte Lautmuster — in lexikalischer Form geordnet — gespeichert sind. Weiterhin wird angenommen und bisher auch durch neurophysiologische Experimente bestätigt, daß der Mensch nach Wahrnehmung eines Sprechlautes laufend Voraussagen macht, also auf Grund seiner Erfahrung bestimmte Verknüpfungen von gespeicherten abstrakten Lautmustern vornimmt, diese mit den wahrgenommenen akustischen Mustern korreliert und bei optimaler Übereinstimmung als erkannt ausgibt. Bei diesem Vorgang hat der Hörende die gleichen Regeln anzuwenden wie bei der Erzeugung von Sprachsignalen. Für die Richtigkeit dieser Annahmen spricht u. a. die Erfahrungstatsache, daß dialektische Sprachunterschiede nach einem kurzzeitigen Lernvorgang offensichtlich das Verständnis einer Sprache nicht wesentlich behindern. Eine Maschine, die also imstande sein soll, mehr als nur die Wörter eines sehr begrenzten Wortvorrates zu erkennen, müßte wahrscheinlich in ähnlicher Weise funktionieren, wie man dies nach den obigen Ausführungen von dem menschlichen Wahrnehmungssystem annimmt.

Zu b) Unabhängig von der Aufstellung von Theorien über die Sprachwahrnehmung durch den Menschen ist man aber auch bemüht, noch weitere Merkmale zu finden, durch die es möglich ist, zusammenhängende Sprachtexte zu beschreiben und für eine Erkennung durch den Automaten vorzubereiten. Es sind dies nach den Vorschlägen von Jakobson, Fant und Halle [7]:

a) Gestaltungsmerkmale (configurative features). Sie ermöglichen es, einen gesprochenen Text in grammatikalisch definierte Einheiten, insbesondere in Sätze und Wörter zu zerlegen.
b) Kulminative Merkmale (culminative features). Mit ihrer Hilfe ist es möglich, die Satzkonstruktion zu beschreiben.
c) Abgrenzungsmerkmale (demarcative features). Sie gestatten es, die Wörter gegenseitig abzugrenzen.
d) Betonungsmerkmale (emphatics). Durch sie werden die verschiedenen Möglichkeiten, einen Text zu betonen, beschrieben.
e) Redundante Merkmale. Sie müssen dann zur Erkennung herangezogen werden, wenn die normalen Entscheidungsmerkmale

---

[9] Die Existenz eines derartigen Rückkopplungsvorgangs konnte in der Tat von K. S. Harris, Haskins Labs., New York (private Mitteilung), dadurch nachgewiesen werden, daß mit Hilfe empfindlicher Testsonden die Muskelbewegungen der Sprechorgane und der Partien des Kopfes während der Sprachwahrnehmung aufgenommen wurden.

zur Identifizierung des Textes nicht mehr ausreichen, z. B. bei Flüstersprache oder bei geschrieener Sprache.

Alle diese Untersuchungen sind bisher über die Aufstellung von Theorien noch nicht hinausgekommen. Ob sich diese Theorien jemals experimentell bestätigen lassen, bleibt abzuwarten. Immerhin ist es erfreulich zu wissen, daß das Problem der Spracherkennung sicherlich nur gelöst werden kann, wenn es in gleicher Weise von Medizinern und Physiologen, von Sprachwissenschaftlern und Mathematikern, von Physikern und auch von Ingenieuren der Nachrichtentechnik in engem Zusammenwirken bearbeitet wird.

B. Sprachsynthese

I. Vorbemerkungen und Begriffsbestimmungen

> Hasce igitur penitus voces cum corpore nostro
> Exprimimus, rectoque foras emittimus ore,
> Mobilis articulat verborum daedala lingua,
> Formaturaque labrorum pro parte figurat 10).
>
> Lukrez: De rerum natura, Buch IV, 547—553

Dieses Zitat steht als Motto über

> „Wolfgangs von Kempelen
> Mechanismus der menschlichen Sprache
> nebst der Beschreibung seiner sprechenden Maschine“,

einem bereits im Jahre 1791 erschienenen und heute noch interessanten Buch. Obgleich bereits zu jener Zeit vereinzelte Berichte über die Konstruktion von Apparaturen zur Erzeugung von Vokalen vorlagen, muß dieses Buch als erste wissenschaftliche Abhandlung angesehen werden, die zahlreiche, heute noch gültige Erkenntnisse enthält [1]. v. Kempelen hat sich u. a. eingehend mit den physikalischen Eigenschaften des Stimmbildungssystems bei Mensch und Tier beschäftigt, er hat genaue Untersuchungen über die Lautbildung angestellt, wobei ihm bereits der Unterschied zwischen Phonemen und Allophonen 11) klar wurde. Er hat weiterhin vergleichende sprachwissenschaftliche Untersuchungen, z. B. mit den zehn Zahlwörtern in 12 verschiedenen, nichtindoeuropäischen Sprachen durchgeführt und schließlich auf Grund seiner Erkenntnisse eine Maschine gebaut, mit der er Vokale und Reibelaute synthetisch erzeugen und sogar zu verständlicher Sprache zusammensetzen — synthetisieren — konnte.

Wie „modern“ W. v. Kempelen zu jener Zeit dachte, geht bereits aus dem ersten Satz seines Buches hervor. Er sagt in der Einleitung: „Die Sprache im weitesten Verstand ist das Vermögen, seine Empfindungen oder

---

10) Die freie Übersetzung dieser Textstelle lautet etwa: „Wenn wir diese Laute nun von innen her aus unserem Körper herauspressen und sie mit nach vorn gerichtetem Munde nach draußen schicken, dann macht die bewegliche Zunge, kunstfertig im Bilden von Wörtern, diese noch unklaren Laute zu deutlichen Lauten, und es ist nun die Aufgabe der Lippenstellung, den Lauten eine bestimmte Gestalt zu geben.“

11) Die Laute [t] in Tier und [t] in Tor sind zwei Allophone des gleichen Phonems /t/.

Gedanken andern durch Zeichen bekannt zu machen." v. Kempelen hoffte, daß mit der Bekanntgabe „seiner gesammelten Entdeckungen" nach seinen eigenen Worten „dadurch bey einigen Taubstummen der Unterricht im Sprechen erleichtert, und ein Theil derjenigen Menschen, die eine fehlerhafte Aussprache haben, durch meine Anleitungen davon geheilt werden kann." Es ist dies bis zum heutigen Tag eine bedeutsame und ungelöste Aufgabe der Sprachforschung geblieben.

Der Begriff synthetische Sprache bedarf der Interpretation:

Unter synthetischer Sprache ist ein Schallereignis zu verstehen, das vom Menschen als Sprache wahrgenommen wird und ihr physikalisch und phonetisch ähnlich ist, aber ohne Mitwirkung des menschlichen Stimmbildungssystems zustande kommt [12]). Wird jedoch der Synthesevorgang durch Signale gesteuert, die aus der menschlichen Sprache selbst gewonnen werden, so bezeichnet man den entstehenden Schallvorgang als „quasisynthetische Sprache". Ausdrücklich sei betont, daß die Sprachsynthese durch eine Maschine nicht der Spracherzeugung durch den Menschen analog sein muß, genau so wenig, wie die automatische Spracherkennung nicht der Spracherkennung durch den Menschen zu entsprechen braucht. Allen Systemen, mit deren Hilfe Sprache synthetisiert wird, fehlt bis heute die Fähigkeit, den erzeugten Schallvorgang selbständig zu kontrollieren.

Während die Methoden zur Erzeugung quasisynthetischer Sprache in zunehmendem Maße für die Nachrichtentechnik Bedeutung erlangen, sind die Verfahren zur Erzeugung synthetischer Sprache vorerst nur von wissenschaftlichem Interesse. Aber gerade das Studium der physiologischen Spracherzeugung und ihre maschinelle Nachbildung ermöglichen es, Rückschlüsse auf den Vorgang der Sprachwahrnehmung zu machen und etwa bestehende Wechselwirkungen zwischen der Sprachbildung und der Sprachwahrnehmung aufzufinden.

Es ist bemerkenswert, daß die Bemühungen, Sprechlaute synthetisch zu erzeugen und zu Wörtern und kurzen, einfach aufgebauten Sätzen zusammenzustellen, wesentlich älter sind und auch größeren Erfolg hatten als die Versuche, Sprache zu analysieren und automatisch zu erkennen. Dies liegt einerseits daran, daß das Stimmbildungssystem ein mechanischer und daher relativ leicht nachbildbarer Schallgenerator ist und andererseits daran, daß die für die Sprachanalyse und Spracherkennung unumgänglich notwendigen Einrichtungen wie Mikrophon, Filter und Frequenzanalysator erst in diesem Jahrhundert in brauchbarer Qualität hergestellt werden konnten.

II. Methoden der Sprachsynthese

1. Synthese durch Nachbildung des menschlichen Stimmbildungssystems

Der als Sprache wahrgenommene Schall wird im Stimmbildungssystem (Artikulationssystem) erzeugt. Dieser Schallgenerator stellt im Sinne der Akustik ein außerordentlich vielseitiges Blasinstrument dar, das nach Art einer Polsterpfeife angeblasen wird und dessen Resonator je nach menschlicher Willensäußerung in seinen Abmessungen und damit in seiner Wirkungsweise verändert werden kann. Im einzelnen

---

12) Die Wiedergabe gespeicherter Sprachvorgänge in akustischer Form soll dagegen nicht als synthetisch erzeugte Sprache gewertet werden.

setzt sich das Artikulationssystem (Bild 17) zusammen aus:

a) dem Kehlkopf und dem durch schwingungsfähige Stimmlippen begrenzten und durch Knorpel einstellbaren Spalt,
b) dem Ansatzrohr, einem zwischen den Stimmlippen und den Mundlippen liegenden und auch mit Stimmtrakt bezeichneten akustischen Resonator, der durch mehrere gekoppelte und in ihrer Größe veränderliche Hohlräume (insbesondere durch den Nasal-Trakt) vergrößert oder verkleinert werden kann,
c) dem Mund mit Zunge, Gaumensegel, Zähnen und Lippen, deren wesentliche Aufgabe es ist, die Laute zu bilden,
d) den Lungen, die wie ein Blasbalg den für die Lauterzeugung benötigten Luftstrom zu liefern haben.

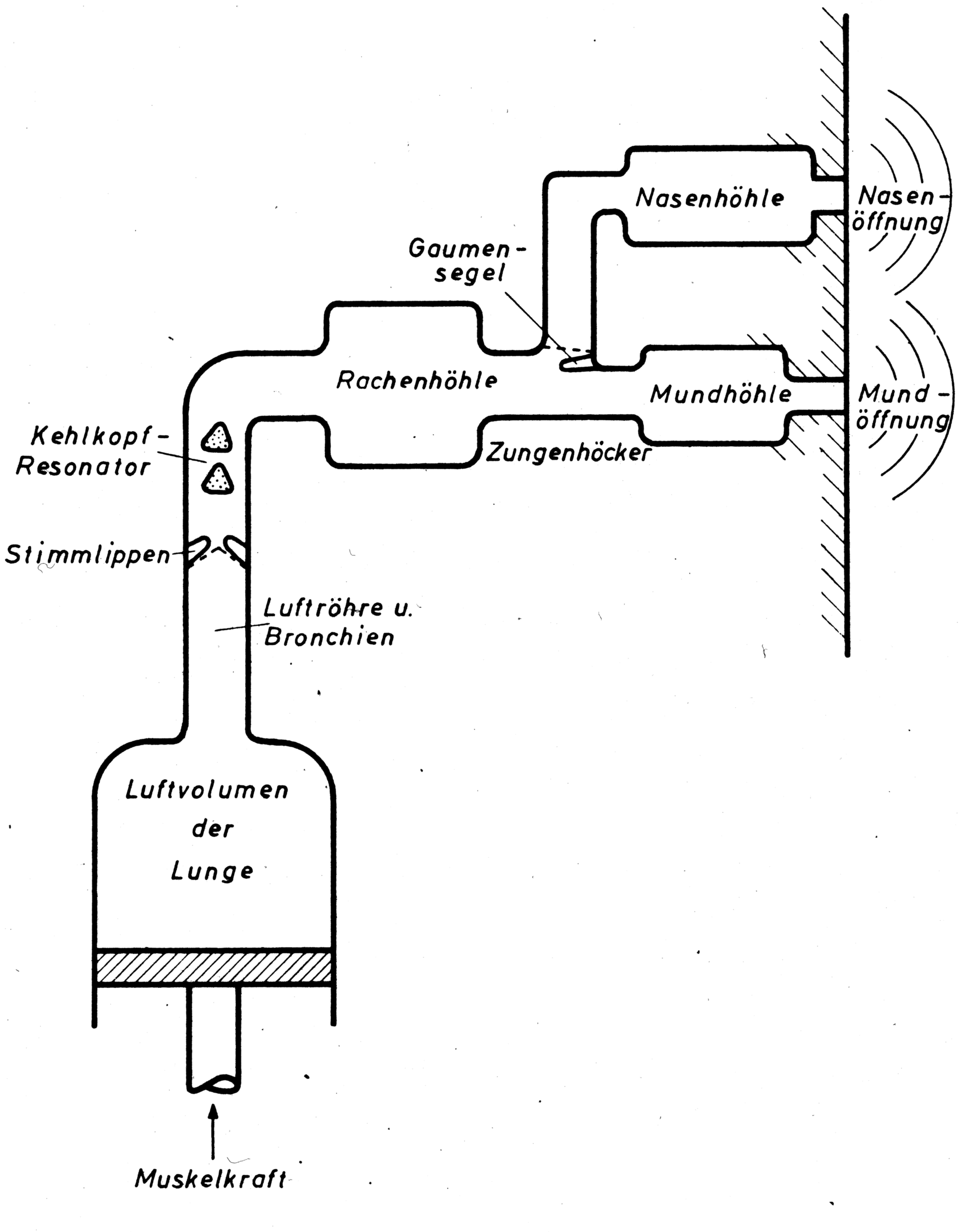

Nasenhöhle
Nasen-öffnung
Gaumen-segel
Rachenhöhle
Mundhöhle
Mund-öffnung
Kehlkopf-Resonator
Zungenhöcker
Stimmlippen
Luftröhre u. Bronchien
Luftvolumen der Lunge
Muskelkraft

Bild 17.
Schematische Darstellung des menschlichen Artikulationssystems, nach [6]

Die Erzeugung eines bestimmten Lautes ist nur möglich, wenn der Stimmtrakt eine für diesen Laut charakteristische Form annimmt. Bild 18a zeigt als Beispiel einen aus Röntgenaufnahmen gewonnenen Längsschnitt durch den Stimmtrakt bei Erzeugung des in der russischen Sprache vorkommenden Vokals /ɨ/ (in der Aussprache zwischen /i/ und /y/ liegend) [4]. Dieser kompliziert geformte Tubus ist um die punktiert eingezeichnete Mittellinie nicht rotationssymmetrisch; Querschnittsform und Querschnittsfläche ändern sich in beträchtlichem Maße. Trägt man die Querschnittsfläche des Stimmtrakts über seiner Längsausdehnung auf, die etwa 16 cm—19 cm beträgt, so erhält man in dem gewählten Beispiel den in Bild 18b wiedergegebenen Kurvenverlauf. Dieser läßt sich durch eine Treppenkurve approximieren (Bild 18c).

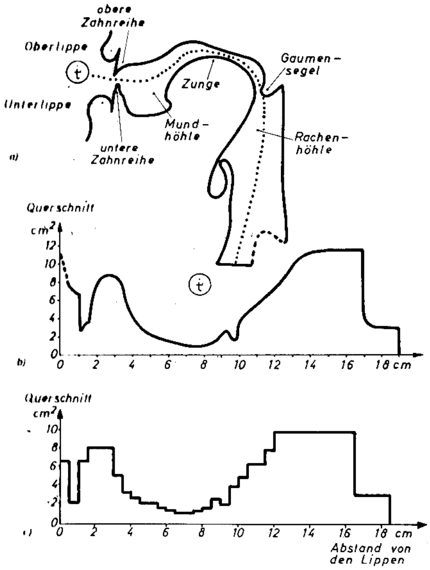


Bild 18.

Der Stimmtrakt als akustischer Resonator, nach [4],

a) als Längsschnitt durch den menschlichen Stimmtrakt bei Erzeugung des Vokals /i/.

b) Querschnittsfläche des Stimmtraktes in Abhängigkeit von seiner Längsausdehnung, von der Mundöffnung an gerechnet.

c) Schrittweise Approximation der Kurve von b)

Jeder Treppenabschnitt kann einem zylinderförmigen Resonator zugeordnet werden. Die Breite einer Stufe entspricht dann einer bestimmten Zylinderhöhe und die Stufenhöhe einer bestimmten kreisförmigen Querschnittsfläche. Auf diese Weise kann man sich den Stimmtrakt aus einer großen Anzahl stumpf aneinandergesetzter zylinderförmiger Einzelresonatoren zusammengesetzt denken.

In Abschnitt A. IV. 1. b wurde bereits festgestellt, daß bei der Erzeugung stimmhafter Laute die Stimmlippen durch den aus den Lungen gepreßten Luftstrom zu quasiperiodischen, impulsförmigen und daher sehr obertonreichen Schwingungen angeregt werden. Hingegen sind stimmlose Reibelaute physikalisch nur Strömungsgeräusche, die an verschiedenen, für den jeweiligen Zischlaut charakteristischen Einengungen des Stimmtrakts entstehen, z. B. zwischen oberen Zähnen und Unterlippen bei /f/, zwischen Zunge und Zähnen bei /θ/. Aber auch zur Erzeugung der stimmlosen und stimmhaften Reibelaute muß der Stimmtrakt jeweils eine bestimmte Form annehmen. Wenn er nur von inkohärentem Strömungsgeräusch erregt wird, so entstehen die stimmlosen Reibelaute, wird er aber außerdem noch von den schwingenden Stimmlippen erregt, so entstehen die stimmhaften Reibelaute. In gleicher Weise lassen sich für die übrigen Lautklassen bestimmte Formen des Stimmtraktes angeben.

Die Form des Stimmtraktes ist außerordentlich kompliziert (Bild 18a) und darüber hinaus von Laut zu Laut so verschieden gestaltet, daß es große Schwierigkeiten bereitet, ihn mechanisch oder elektrisch nachzubilden, um mittels solcher Nachbildungen Sprache zu synthetisieren. Die nachfolgenden Ausführungen werden aber zeigen, daß es — insbesondere auf Grund der fundamentalen Arbeiten von Fant [4] — dennoch möglich ist, die Sprechwerkzeuge und ihre Funktionsweise zu beschreiben.

Damit sind auch die Voraussetzungen gegeben, Sprache in begrenztem Umfange ausschließlich mit technischen Hilfsmitteln zu erzeugen.

Die oben erwähnte, von W. v. Kempelen gebaute sprechende Maschine, die bereits in der Lage gewesen sein soll, Wörter und einfach gestaltete Sätze mit großer Natürlichkeit zu sprechen, enthielt als wesentlichen Bestandteil eine primitive mechanische Nachbildung des Stimmtraktes, dessen geometrische Abmessungen allerdings rein empirisch ermittelt worden waren. Auch Helmholtz benutzte bei seinen klassischen Versuchen zur Nachbildung von Vokalklängen mechanische Resonatoren. Diese Untersuchungen wurden von K. W. Wagner wiederholt, wobei jedoch die mechanischen Resonatoren durch äquivalente elektrische Schwingungskreise und der mechanische Schwingungserzeuger durch einen Impulsgenerator ersetzt wurden [2]. In gleicher Weise läßt sich jeder der zylinderförmigen Resonatoren des menschlichen Stimmtraktes durch ein elektrisches Netzwerk nachbilden. Seine Pole und Nullstellen müssen rechnerisch so festgelegt werden, daß die Übertragungsfunktion aller in Serie geschalteter Einzelvierpole der Übertragungsfunktion des Stimmtraktes entspricht (Bild 19). Da für jeden Laut ein bestimmtes Querschnittsprofil des Stimmtraktes charakteristisch ist, müssen auch die elektrischen Analoga so dimensioniert sein, daß ihre Übertragungsfunktionen mit denen der mechanischen Analoga und damit jeweils mit der Übertragungsfunktion des Stimmtraktes übereinstimmen. Die Übereinstimmung der elektrischen Analoga mit den verschiedenen Stimmtraktformen läßt sich durch Vergleich der Resonanzspektren mit den entsprechenden Lautspektren nachweisen.

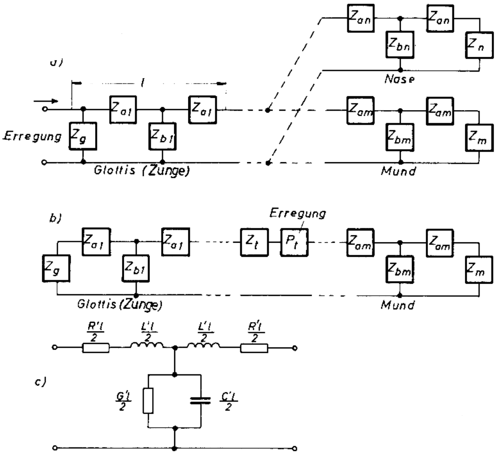


Bild 19.

Elektrisches Analogon des menschlichen Stimmbildungssystems, nach [6], bei Erregung

a) durch Impulsgenerator,

b) durch Strömungsrauschen.

c) T-Glied, elektrische Nachbildung eines zylindrischen Hohlraumresonators der Länge l; $Z_{i,k}$ sind verschiedene Impedanzen

Da mit Hilfe von Röntgenaufnahmen auch verfolgt werden kann, wie sich die einzelnen Stimmtraktprofile während des Sprechvorganges ändern und ineinander übergehen, ist es auch möglich, entsprechende Änderungen am elektrischen Analogon des Stimmtraktes vorzunehmen. Hierüber sind umfangreiche Untersuchungen und Berechnungen, vornehmlich im Acoustic Laboratory des Massachusetts Institute of Technology, USA, und im Speech Communication Laboratory des Royal Institute of Technology, Stockholm, durchgeführt worden. Der erste von Fant gebaute und schon seit 1953 unter dem Namen OVE I [13]) bekanntgewordene Sprachsynthesator bestand aus einem Netzwerk, mit dessen Hilfe einfache, nur aus Vokalen oder vokalähnlichen Lauten bestehende Sätze wie „How are you", „I love you" synthetisch „gesprochen" werden konnten. Zur Nachbildung des Sprechvorganges wurden eine Reihe von Kapazitäts- und Widerstandswerten des Netzwerkes und die Impulsfolgefrequenz des Tongenerators von Hand aus zeitlich so verändert, daß die Eigenresonanzen des Netzwerkes in jedem Augenblick gerade der zur jeweiligen Lauterzeugung erforderlichen Formantverteilung entsprachen. Diese von Hand ausgeführten Veränderungen erforderten eine große manuelle Geschicklichkeit. Mit einem in Weiterentwicklung gebauten Synthesator OVE II ist es möglich, alle Vokale, Reibe- und Nasallaute und die aus diesen Lauten herstellbaren, in der Sprache vorkommenden Lautkombinationen synthetisch zu erzeugen. Wegen der unterschiedlichen physikalischen Eigenschaften, durch die Laute dieser Lautgruppen charakterisiert sind, werden drei verschiedene Synthese-Netzwerke benötigt [32].

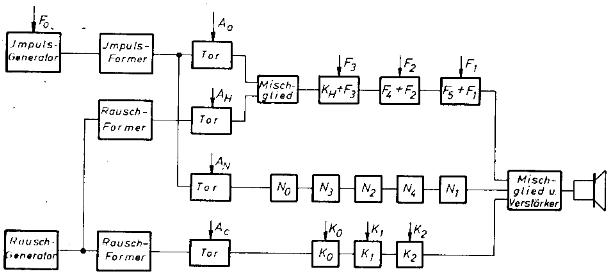


Bild 20.
Der Sprachsynthesator OVE II von Fant [32]

Der Sprachsynthesator OVE II besteht aus drei getrennten elektrischen Filterketten, die über insgesamt vier Tore von einem Impulsgenerator bzw. einem Rauschgenerator gespeist werden (Bild 20). Diese drei Filterketten stellen im Prinzip elektrische Nachbildungen des Stimmtraktes für Vokale und vokalähnliche Laute (F), für Nasallaute (N) und für Geräuschlaute (K) dar. Zur Spracherzeugung wird ein bereits existierendes Zeitfrequenzspektrum des zu synthetisierenden Wortes oder Satzes, das mit leitender Tinte aufgezeichnet ist, von einem oder mehreren Potentiometern so abgetastet, daß Frequenzänderungen linear in Spannungsänderungen transformiert werden. Diese Abtastspannungen steuern nun, dem ursprünglichen Sprachvorgang entsprechend, die einzelnen Tore: A_0 bei Auftreten eines Vokals, A_H bei Auftreten eines stimmhaften Geräuschlautes, A_N, falls ein Nasallaut erzeugt werden soll, und A_C zur Erzeugung eines Reibelautes. Auf diese Weise werden alle Strukturänderungen im Spektrogramm, wie Änderungen der Formantlagen (F_1, F_2, F_3) und Verschiebungen von Frequenzschwerpunkten und Antiformantbereichen bei Geräuschlauten (K_0, K_1, K_2), einzeln erfaßt und zur Steuerung der verschiedenen Filterkettenglieder herangezogen. Insgesamt reichen zur Steuerung der drei Filterketten 11 Parameter aus. Um die Signale zu gewinnen, die im Synthesator zur Steuerung der zeitlichen Änderungen der Stimmbandgrundfrequenz benötigt werden, wird aus dem Gesamtspektrum der Sprache ein besonderes, schmales Frequenzband ausgesiebt und dessen Spektrogramm ausgewertet. Das Gerät, das in der Lage ist, natürlich klingende Sprache zu erzeugen, läßt sich bei Untersuchungen zur automatischen Spracherkennung und zur Bestimmung spezieller Sprachcharakteristika einsetzen.

---

[13]) Orator Verbis Electricis.

Obgleich der Synthesator OVE II nur eingesetzt werden kann, wenn von dem zu synthetisierenden Sprachvorgang eine naturgetreue spektrographische Aufzeichnung vorliegt, zur Synthese also der ursprünglich vom Menschen selbst hervorgebrachte Schallvorgang herangezogen wird, wurde das Gerät doch bereits an dieser Stelle erwähnt, da sein wesentlicher Bestandteil eben die elektrische Nachbildung des Stimmtraktes ist.

2. Synthese durch Nachbildung der Sprachspektren

Das in Abschnitt B. II. 1. beschriebene und im Sprachsynthesator OVE II realisierte Verfahren, Zeitfrequenzspektren wieder in die zugehörigen Schallvorgänge zurückzuführen, ist einem von den Haskins-Laboratorien, New York, entwickelten Sprachsyntheseverfahren sehr ähnlich. Bevor jedoch diese Methode hier näher erläutert wird, ist es erforderlich, die Funktionsweise eines nach dem Suchtonverfahren arbeitenden Gerätes zu beschreiben, das in der Lage ist, innerhalb weniger Minuten von Sprachvorgängen jeglicher Art sog. Zeitfrequenzspektrogramme aufzuzeichnen.

Der zu untersuchende Schallvorgang wird zunächst auf ein endloses Tonband aufgenommen und dieses zur Herstellung des Spektrogramms laufend abgespielt. Die in der Wicklung des Hörkopfes induzierte Wechselspannung enthält dann alle Schwingungskomponenten, die in dem zu untersuchenden Sprachschall vorkommen, und zwar im vorliegenden Falle zwischen 50 und 8000 Hz. Ein schmalbandiges Filter, dessen Durchlaßbreite durch Umschaltung auf 300 bzw. 45 Hz eingestellt werden kann, siebt aus diesem elektrischen Schwingungsgemisch ein bestimmtes Frequenzband aus und überträgt die an seinen Ausgangsklemmen auftretenden Spannungsschwankungen als Dichteschrift auf spannungsempfindliches Faksimile-Papier (Bild 2). Durch Modulation des ungefilterten, in elektrische Schwingungen überführten Sprachvorgangs mit einer langsam ansteigenden Suchfrequenz läßt sich das gesamte Spektrum durch das oben erwähnte Filter „durchschieben". Wenn dann die auf diese Weise erhaltenen streifenförmigen Tonspuren in der zur Zeitachse orthogonalen Richtung übereinandergesetzt werden, erhält man ein über der Zeitachse aufgetragenes „Augenblickswert-Spektrogramm" des gespeicherten akustischen Signals. Es bedarf nur einer geringen Übung, um derartige „visible speech"-Spektrogramme „lesen" zu können. Die Bilder 1, 2 und 5 c, d zeigen einige auf diese Weise gewonnene Sprachspektrogramme. Die Spektren der einzelnen Sprechlaute weisen folgende Merkmale auf:

a) Die für stimmhafte Laute charakteristischen Formanten werden als relativ schmalbandige Spektralbereiche bevorzugter Energieabstrahlung durch balkenförmige, im allgemeinen waagerecht verlaufende und sich durch besondere Schwärzung hervorhebende Streifen — vornehmlich im Bereich unterhalb von 4000 Hz — wiedergegeben;
b) Zisch- und Reibelaute erkennt man an aleatorischen, wenig strukturierten Grautönungen, besonders im Frequenzbereich oberhalb von etwa 1500 Hz;
c) Explosivlaute besitzen als kurzzeitige, plötzlich einsetzende Schallvorgänge Spektren, die sich über den gesamten Frequenzbereich erstrecken;
d) Lautübergänge drücken sich durch Veränderungen der Formantlagen aus (Bild 2);
e) die Sprachgrundfrequenz als Charakteristikum für stimmhafte Laute erkennt man an einer feinen, in Richtung der Zeitachse verlaufenden Riffelung, falls die Spektrogramme, wie in den vorliegenden Fällen, mit Analysefiltern von 300 Hz Bandbreite aufgenommen sind. Der zeitliche Abstand zwischen je zwei Riffeln ist gleich dem Reziprokwert der Sprachgrundfrequenz. Eine grobe Riffelung entspricht also einer tiefen Frequenzlage (Männerstimme), eine feine Riffelung einer hohen Frequenzlage (Frauenstimme), Änderungen der Riffelung in Richtung der Zeitachse bedeuten Änderungen der Stimmtonfrequenz und lassen besondere Ausdrucksformen der Sprache (Heben und Senken der Stimme) erkennen.

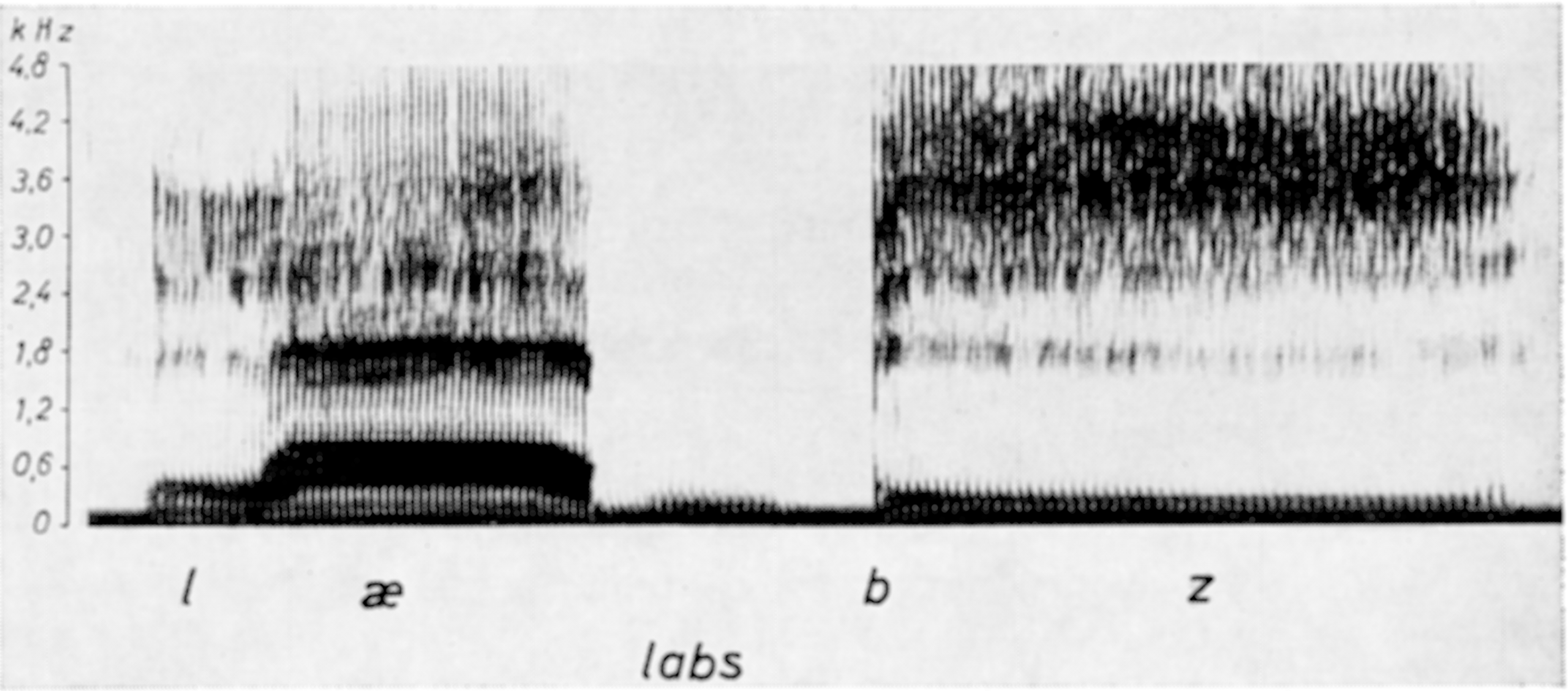
Daneben kann man aus den Zeitfrequenzspektren noch eine große Anzahl weiterer Laut- und Sprechmerkmale ablesen. Sie geben Auskunft über Vorgänge bei der Lautbildung, über Sprech- und Sprecher-Eigenschaften, über krankhafte Veränderungen des Sprechorgans, über besondere mundartliche Lautfärbungen und über sonstige, für die Sprachanalyse und Sprachsynthese wichtige Parameter.

Eine Sprachsynthese läßt sich dadurch ausführen, daß man die Spektren der einzelnen Laute und die Lautübergänge zeichnerisch in vereinfachter Form nachbildet und dabei bewußt auf eine Wiedergabe aller spektralen Einzelheiten verzichtet. So lassen sich z. B. Vokale durch breite balkenförmige und scharf beränderte Striche, Nasallaute durch einen schmaleren Balken oder durch mehrere dicht übereinanderliegende Linien und Reibe- und Zischlaute durch unregelmäßig angeordnete Punktmuster nachbilden und mit Hilfe eines entsprechenden Rückspiel-Gerätes in Schall umwandeln. Es ist so möglich, alle für die Spracherkennung durch den Menschen relevanten Merkmale aufzufinden und für die Sprachsynthese zu verwerten.

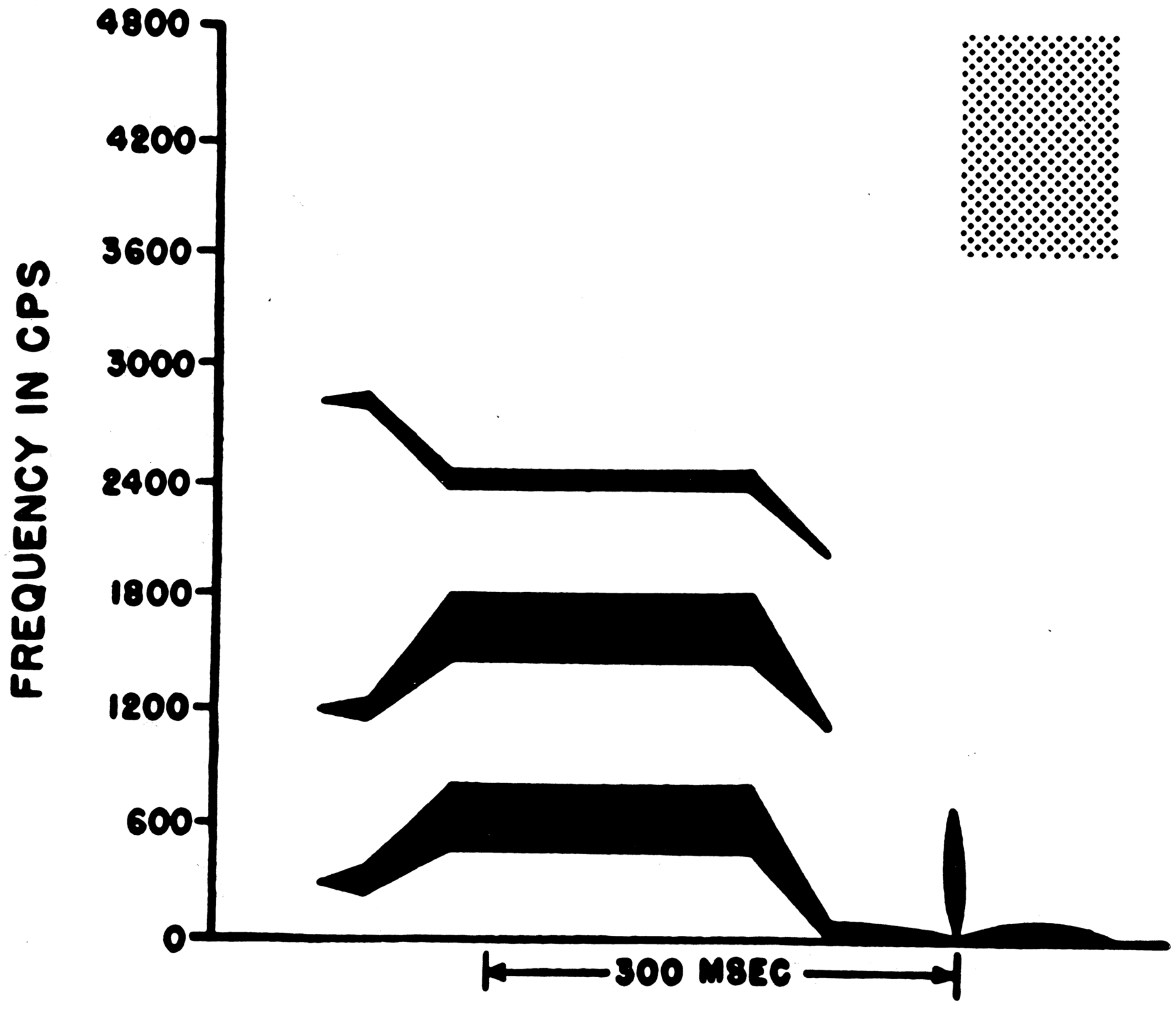
Bild 21 zeigt als Beispiel im oberen Teil das von einem Sound-Spektrographen[14]) hergestellte Visible-Speech-Spektrogramm des gesprochenen Wortes „labs“ /læbz/ und im unteren Teil ein von Hand gezeichnetes, vereinfachtes Spektrogramm des gleichen Wortes [33]. Man erkennt, daß nicht alle Einzelheiten des vom gesprochenen Wort

---

14) Sound-Spektrographen werden hergestellt von den Firmen: Voiceprint Laboratories, Somerville, N. J., USA und Kay Electric Comp., Pine Brook, N. J., USA, letzterer als sog. Sona-Graph.



a)



b)

Bild 21.
Zur Sprachsynthese durch Nachbildung der Sprachspektren.

a) Oben: Visible-Speech-Spektrogramm des Wortes „Labs“, /læbz/,
b) unten: vereinfachtes gezeichnetes Zeitfrequenzspektrum des gleichen Wortes, aus [23]

aufgenommenen Spektrogramms in dem gezeichneten Muster enthalten sind, andererseits aber in das schematisierte Spektrogramm Formantübergänge eingetragen wurden, die in dem hier vorliegenden Vergleichsspektrogramm nicht vorkommen. Insbesondere stellt man an Hand des gezeichneten Spektrogramms fest, daß die einzelnen Formantübergänge von bestimmten Frequenzlagen — den sog. loci — (hier bei 250, 1200 und 2800 Hz) ihren Ausgang nehmen. Diese Frequenzlagen hängen, wie F. S. Cooper und Mitarbeiter nachweisen konnten, ihrerseits von den Vorgängen bei der Lautbildung und damit von den geometrischen Abmessungen des Stimmtraktes ab.

Das Verfahren, Sprache durch zeichnerische Herstellung von spektralen Lautmustern zu synthetisieren, wurde von F. S. Cooper und einem Wissenschaftler-Team der Haskins-Laboratorien, New York, nach langjährigen Untersuchungen von Visible-Speech-Spektrogrammen und auf Grund eingehender Beobachtungen der Artikulationsvorgänge entwickelt und ist seit etwa 1950 bekannt. Da die Spektren von Lauten, die zur gleichen Lautklasse gehören, einander ähnlich sind und sich ihre von Hand gefertigten Muster durch große Einfachheit auszeichnen, ist es möglich, sich die einzelnen Musterspektren im Gedächtnis einzuprägen. Dies hat wiederum dazu angeregt, eine Theorie zu entwickeln, die den Gedankenablauf im menschlichen Gehirn bei der Herstellung zeichnerischer Muster beschreibt [33]. Ein solcher Vorgang ähnelt weitgehend der in Abschnitt A. IV. 1. a erwähnten Erkennungshierarchie und läßt damit Rückschlüsse auf die Vorgänge zu, die bei der Lauterzeugung im menschlichen Stimmbildungssystem vor sich gehen. Die Entscheidung darüber, ob ein gezeichnetes Lautspektrogramm auch das zugehörige und erwartete Sprachsignal richtig beschreibt, kann aber letzten Endes nur der Mensch mit Hilfe seines Gehörs treffen.

Für die Umwandlung eines gezeichneten Spektrums in ein Sprachsignal ist ein Rückspielgerät erforderlich. Ein solches Gerät wurde ebenfalls von F. S. Cooper und Mitarbeitern konstruiert und arbeitet folgendermaßen [2]: Die Spektren werden mit weißer, reflektierender Farbe auf einen klarsichtigen Film gezeichnet, der anschließend mit konstanter Geschwindigkeit bewegt und durch einen senkrecht zur Zeitachse, also in Richtung der Frequenzachse angeordneten Lichtspalt beleuchtet wird. Die balkenförmigen oder punktiert gezeichneten „Bauelemente“ des synthetischen Spektrogramms reflektieren einen Teil des Lichtes, so daß es möglich ist, den durch den Spalt ausgeblendeten Teil des Musters auf ein rotierendes Tonrad zu projizieren. Das Tonrad hat die Aufgabe, das reflektierte Gleichlicht in geeigneter Weise zu modulieren. Es besteht aus 50 nebeneinanderliegenden, konzentrischen und in ihrer Transparenz sinusförmig geschwärzten Ringen, von denen der innerste Ring vier, der nächste acht, der darauffolgende zwölf usw. Schwärzungsperioden enthält. Das modulierte Licht wird sodann nochmals mittels einer Zylinderlinse gesammelt und einer Photozelle zugeführt, deren Strom in üblicher Weise nach Verstärkung einen Lautsprecher speist. Die Umdrehungszahl des Tonrades ist so bemessen, daß der Grundton 120 Hz beträgt und der gesamte Frequenzbereich alle Harmonischen des Grundtones bis 6000 Hz umfaßt. Das synthetisierte Sprachsignal wird daher ohne jegliche Sprachmelodie monoton auf einer Grundtonhöhe von 120 Hz „gesprochen“, was für phonetische Untersuchungen ausreichend ist. Aus diesem Grund wurde bei der zeichnerischen Herstellung der Spektralmuster von stimmhaften Lauten auf die Eintragung des Charakteristikums für die Stimmtonfrequenz, die Riffelung, verzichtet.

Cooper und Mitarbeiter versuchen weiterhin, durch Vergleich der Zeitfrequenzspektren von natürlich gesprochenen Wörtern mit entsprechenden zeichnerisch hergestellten Spektralmustern und durch Vergleich der natürlich gesprochenen Sprachsignale mit den durch den Rückspielprozeß gewonnenen synthetischen Signalen Gesetzmäßigkeiten aufzufinden. Mit ihrer Hilfe ist es möglich, sowohl die Entstehung von Formantübergängen in der spektralen Darstellung als auch die Änderungen des Stimmtraktes hinreichend genau zu beschreiben. Da die Formantstruktur eines bestimmten Vokals bereits in der spektralen Struktur des vorhergehenden Lautes enthalten sein muß, sofern beide Laute zeitlich lückenlos aufeinanderfolgend gesprochen werden, muß nach Ansicht von Cooper auch das zur Erzeugung eines Reibelautes sich einstellende Querschnittsprofil des Stimmtraktes so gestaltet sein, daß eine unmittelbar darauffolgende Umstellung auf das Profil für eine Vokalerzeugung möglich ist. Daß derartige Untersuchungen über die Natur der Lautübergänge, die neuerdings ebenfalls unter Zuhilfenahme von Rechenanlagen durchgeführt werden, nicht nur für die Grundlagenforschung, sondern auch für die Nachrichtentechnik von größtem Interesse sind, zeigt das nachfolgend beschriebene Verfahren zur Sprachsynthese.

3. Synthese durch Verwendung von „Sprachbausteinen“

Ein schon von W. v. Kempelen vorgeschlagenes Verfahren zur Sprachsynthese besteht darin, Einzellaute zu Wörtern und Sätzen zuzusammenzufügen, ähnlich wie dies bei der Herstellung von Drucktexten mit Hilfe von Lettern üblich ist. Dieser Gedanke konnte aber erst verwirklicht werden, als es möglich war, Sprache zu speichern, aus den gespeicherten Wörtern Einzellaute „herauszuschneiden“ und diese für eine Synthese zur Verfügung zu stellen. Da man für eine einigermaßen vollständige Beschreibung gesprochener Texte nur insgesamt 40 bis 50 Sprechlaute benötigt, müßte es theoretisch auch möglich sein, aus einer gleichen Anzahl verschiedener Phoneme Wörter und einfache Sätze zu synthetisieren. Dagegen kann nicht erwartet werden, daß sich mit den Phonemen eines derart beschränkten Lautinventars auch Betonungseffekte berücksichtigen lassen. Die ersten Versuche dieser Art wurden im Jahre 1953 von C. Harris unternommen und führten zu der Erkenntnis, daß es nicht möglich ist, nach einer solchen Methode eine für Zwecke der Konversation ausreichend verständliche Sprache zu synthetisieren. Es zeigte sich vielmehr, daß die verschiedenen Allophone des gleichen Phonems bei Zusammensetzung mit einem anderen Phonem verschieden interpretiert werden (Bild 1 und Ausführungen auf S. 137). Der Grund dafür, daß die in dieser Weise synthetisierten Wörter in so hohem Maße unverständlich waren — die Logatomverständlichkeit betrug nur etwa 20 % — oder gar völlig sinnentstellt wiedergegeben wurden, liegt darin, daß die für die Verständlichkeit wesentlichen gleitenden Übergänge zwischen den einzelnen Lauten fehlten und prinzipiell auch nicht synthetisiert werden konnten. Auch dies hatte bereits W. v. Kempelen erkannt[15].

Von Küpfmüller und Warns [34] wurde daher ein Verfahren angegeben und untersucht, bei dem statt der Einzelphoneme Doppelphoneme, d. h. aus zwei Lauten (einschließlich Lautübergang) bestehende Lautkombinationen, zur Sprachsynthese verwendet werden.

---

15) W. v. Kempelen schreibt in seinem Buch [1] auf Seite 407: „Itzt fieng ich an einzusehen, daß sich die einzelnen Buchstaben (gemeint sind hier die Sprechlaute) zwar erfinden, aber auf die Art, wie ich es angriff, nimmermehr in Sylben zusammenbinden ließen, und daß ich schlechterdings der Natur folgen müßte, die nur eine Stimmritze und nur einen Mund hat, zu dem alle Laute herausgehen und eben nur darum sich miteinander verbinden.“

Das Wort „Tonbänder“ müßte danach aus folgenden Doppellauten synthetisiert werden:

/to/, /on/$^{+}$, /bæ/, /æn/$^{+}$, /də/ /əʀ/.

Da Lautübergänge zwischen den Phonemen /n/ und /b/ bzw. zwischen /n/ und /d/ praktisch ohne Bedeutung sind, kann im vorliegenden Fall für die Synthese auf die Lautkombination /nb/ und /nd/ verzichtet werden. Eingehende, von O. Warns durchgeführte Versuche [35] ergaben, daß es möglich ist, aus Doppellaut-Kombinationen natürlich klingende Wörter zu synthetisieren, falls diese jeweils überlappend aneinandergefügt werden. Experimentell wurde ermittelt, daß bei Überlappungszeiten von 80 bis 120 Millisekunden Logatom-Verständlichkeitswerte von etwa 80 % erreicht werden können. Da zur phonetischen Beschreibung der deutschen Sprache etwa 40 Einzellaute (einschließlich der Diphthonge) ausreichen, benötigt man für eine nach diesem Verfahren durchzuführende Wortsynthese maximal 1560 Doppellaut-Kombinationen. Sollen jedoch auch Betonungseffekte berücksichtigt werden, so steigt die Anzahl der erforderlichen Einzelphoneme auf 60, die Anzahl der Doppellaute damit auf 3540 an. Selbst wenn man in Betracht zieht, daß bestimmte Lautkombinationen in der deutschen Sprache nicht vorkommen oder für eine Synthese irrelevant sind, sind auf Grund statistischer Ermittlungen mindestens 700 bis 1100 Doppelphoneme und entsprechend umfangreiche Speichereinrichtungen erforderlich, die eine technische Realisierung des Verfahrens vorerst unmöglich machen.

Mit weiterführenden Versuchen hat B. Cramer [36] den Nachweis erbracht, daß sich Wörter und Sätze auch durch Zusammensetzung von Einzellauten synthetisieren lassen, wenn zwischen die Sprachelemente jeweils ein Verbindungslaut eingefügt wird. Die Sprechdauer des Verbindungslautes muß allerdings so kurz sein, daß er den Sprachfluß nicht stört. Als günstigster Zwischenlaut hat sich der im Hebräischen als „Schwa“-Laut bekannte Vokal /ə/ erwiesen. Für eine praktische Realisierung des Verfahrens müssen die 40 benötigten Sprachbausteine eigens „hergestellt“ werden, und zwar in der Weise, daß dem eigentlichen Laut, beispielsweise einem /d/, ein kurzer /ə/-Laut vorausgeht und ein kurzer /ə/-Laut folgt. Das Sprachelement wird dann in Lautschrift durch das Laut-Tripel /ədə/ wiedergegeben, so daß sich etwa das Wort „Lora“ aus folgenden Sprachbausteinen zusammensetzt:

/ələ/, /əoə/, /əʀə/, /əaə/.

Bei Verständlichkeitsmessungen mit synthetisierten Logatomen ergaben sich ebenfalls Silbenverständlichkeitswerte von 80 %, wenn die zwischen zwei Laute eingeblendete und durch sich überlappende Schwa-Laute ausgefüllte Übergangszeit 30 bis 40 Millisekunden nicht überstieg. Dieses zuletzt besprochene Verfahren dürfte sich als einziges für den Aufbau einer Syntheseeinrichtung eignen, die auch wirtschaftlich bedeutsam werden kann, wenn es allein auf die exakte Wiedergabe des Nachrichteninhaltes ankommt. Darüber hinaus bietet das Verfahren von Cramer auch die Möglichkeit zu einer besonders rationellen

Übertragung von Sprache, wenn man jedem der 40 Phoneme ein bestimmtes Codewort zuordnet und nur diese Codewörter — z. B. als Folge von Binärzeichen — überträgt. Auf der Sendeseite kann der zu übertragende Text etwa durch Betätigung einer Tastatur zusammengesetzt werden.

Für den Fall jedoch, daß auf der Sendeseite der Übertragungseinrichtung die Nachricht in sprachlicher Form angeboten werden soll, ist es allerdings unumgänglich notwendig, durch eine Analyse die bei dem Verfahren verwendeten Sprachelemente aus dem Sprachtext zu bestimmen. Gerade eine solche Analyse bereitet, wie in Abschnitt A ausgeführt wurde, heute noch unüberwindlich erscheinende Schwierigkeiten. Wenn man von der Voraussetzung ausgeht, daß im Mittel 20 Laute pro Sekunde erzeugt werden sollen, errechnet sich die für die Übertragung erforderliche Kanalkapazität zu

$$C_1 = 20 \text{ ld } 40 \text{ bit/s} = 106 \text{ bit/s}.$$

Dieser Wert erhöht sich auf

$$C_2 \approx 20 \text{ ld } 1000 \text{ bit/s} \approx 200 \text{ bit/s},$$

wenn statt der Einzellaute Doppelphoneme zur Sprachsynthese verwendet werden. Für eine uncodierte Sprachübertragung bei mittlerer Fernsprechqualität (Bandbreite $B = 3000$ Hz, Nutz-/Störverhältnis $\approx 1000 : 1$) wird dagegen

$$C \approx 30\,000 \text{ bit/s}.$$

Es wurden auch Überlegungen angestellt, ob es nicht möglich ist, Sprachtexte unter Verwendung von Silben oder ganzen Wörtern als „Bauelemente“ zusammenzusetzen [33]. In diesem Falle würden zwar einige Schwierigkeiten, die bei einer Wortsynthese aus Einzellauten auftreten, vermieden, an ihre Stelle aber eine Reihe neuer Schwierigkeiten treten: Die zu synthetisierende Sprache sollte nicht gegen die Regeln der Grammatik verstoßen. Außer den Grundformen der einzelnen Wörter müßten auch alle abgeleiteten Formen gespeichert vorliegen, was — wie bei dem schon erwähnten Verfahren von Warns — außerordentlich aufwendige Speichereinrichtungen erforderlich machen würde. So müßten zur Synthese von Texten beliebigen Inhalts schätzungsweise 30 000 Wörter allein aus einer Sprache zur Verfügung stehen. Die technischen Schwierigkeiten zur Realisierung des Verfahrens sind auch hier z. B. größer als die methodischen.

Dagegen lassen sich Einrichtungen zur „Sprachsynthese aus Wörtern“ herstellen, wenn man sich auf die Verwendung eines verhältnismäßig kleinen Wortschatzes und den Aufbau einfacher Sätze beschränkt. Erfahrungsgemäß reicht ein Wortvorrat von nur wenig mehr als 100 Wörtern aus, um beispielsweise im Bankwesen synthetisch gesprochene Auskünfte über Kontostand und Kreditwürdigkeit zu erteilen. Ein solches Gerät ist von der Firma IBM entwickelt worden. Der gespeicherte Wortvorrat umfaßt 128 Wörter. Die daraus zusammengesetzten Auskünfte werden von Bankkunden über den Nummernschalter eines Fernsprechapparates angefordert [37]. Naturgemäß gehören zu dem System noch Zuordner, Umcodierer und sonstige in der

Datenverarbeitungstechnik übliche Einrichtungen. Es ist zu erwarten, daß dieses Verfahren, das man im Sinne der obigen Definitionen allerdings kaum noch zu den eigentlichen Syntheseverfahren rechnen kann, technisch einige Bedeutung erlangen wird.

III. Sprachgesteuerte Synthese

Die beschriebenen Einrichtungen zur „Sprachsynthese aus Sprachbausteinen“ gewinnen in besonderem Maße an Bedeutung, wenn man sie in ein Sprachübertragungssystem einfügen kann. Ein solches System besteht in seiner Grundkonzeption aus Einrichtungen zur Sprachanalyse und zur Codierung der ermittelten Sprachparameter, aus dem Übertragungskanal und aus Einrichtungen zur Sprachsynthese.

Wenn man davon absieht, den Analyseteil mit einer Erkennungslogik auszustatten und sich auf die Erstellung von Einrichtungen beschränkt, die in der Lage sind, aus dem Sprachsignal nur bestimmte Parameter zu extrahieren, diese geeignet zu codieren (Coder), zu übertragen und sie im Syntheseteil als Steuersignale zur Erzeugung quasisynthetischer Sprache zu benutzen, dann handelt es sich bei einem solchen Analyse-Synthese-System um einen sog. Vocoder[16]), von dem seit über zwei Jahrzehnten laufend neue Ausführungsformen erfunden werden. Die älteste und bis heute wohl bekannteste Einrichtung dieser Art ist der Kanal-Vocoder. Er wurde im Jahre 1932 von K. O. Schmidt zum Patent angemeldet [38] und im Jahre 1939 von H. Dudley erstmalig vorgeführt.

Das ursprünglich bei der Entwicklung aller Vocoder verfolgte Ziel bestand darin, das für die Übertragung von Sprache (vornehmlich über Fernsprechleitungen) benötigte Frequenzband ohne Einbuße der Sprachqualität erheblich einzuengen, um die dadurch freiwerdende Bandbreite für die Übertragung weiterer Gespräche ausnutzen zu können. Obgleich es inzwischen gelungen ist, die verfahrensmäßig bedingte Qualitätseinbuße der vom Kanal-Vocoder übertragenen Sprache zu verringern, besteht wenig Aussicht, ein derartiges Gerät im Fernsprechdienst einsetzen zu können, weil

a) die vom Kanal-Vocoder synthetisierte Sprache unnatürlich klingt und eine Identifizierung des Sprechers nicht zuläßt und weil

b) wegen des sog. Respektabstandes, der zwischen den einzelnen Übertragungskanälen vorhanden sein muß, die theoretisch mögliche Reduzierung des Übertragungsfrequenzbandes (etwa 10 : 1) nicht erreicht werden kann.

Anläßlich des „Speech Communication“-Seminars, das im Jahre 1962 in Stockholm stattfand, wurde ein von der Firma Siemens & Halske, München, entwickelter Kanal-Vocoder vorgeführt, der wegen der hohen Wiedergabequalität der übertragenen Sprache seinerzeit beträchtliches Aufsehen erregte [39]. Die günstigen Werte wurden dadurch erreicht, daß die üblichen Tiefpaßfilter durch RC-Filter ersetzt wurden, die ein geringeres Überschwingen zeigen, und daß die Frequenzbandbreite des ursprünglich zu übertragenden Sprachsignals über die Telephonbandbreite hinaus von 3100 auf 5800 Hz (200 bis 6000 Hz) erweitert wurde. Eine auf Silbenverständlichkeitsmessungen beruhende Beurteilung des Gerätes und ein entsprechend fundierter Vergleich mit anderen Vocodern war nicht möglich, da die Methoden zur Bestimmung der Silbenverständlichkeit in den einzelnen Ländern erheblich differieren. Die subjektiv empfundene Qualität der synthetisierten Sprache war aber so gut, daß es durchaus sinnvoll wäre, das Gerät in der Fernsprechtechnik einzusetzen, wenn die Frequenzgänge der elektroakustischen Wandler am Eingang und Ausgang des Vocoders und die Übertragungsleitungen und -Einrichtungen eine Verarbeitung von Sprachsignalen größerer Frequenzbandbreite zuließen. Außerhalb der kommerziellen Fernsprechtechnik gibt es jedoch Anwendungsmöglichkeiten für einen derartigen Kanal-Vocoder.

---

[16]) Abkürzung für *Voice Codes to recreate*.

Außer dem Kanal-Vocoder sind noch verschiedene weitere Ausführungsformen von Vocodern bekannt geworden. Viele von ihnen sind nur als Patentschriften veröffentlicht, für einen Einsatz in Übertragungseinrichtungen sind sie aber entweder noch nicht gebaut worden oder sie haben sich inzwischen als unbrauchbar erwiesen. Im folgenden sollen daher nur zwei Varianten des Vocoders beschrieben werden, die für einen Einsatz in der Fernsprechtechnik brauchbar sind. Es sind dies: Der zur Gruppe der sog. Halb-Vocoder zu rechnende „spracherregte Vocoder“ — in der anglistischen Literatur unter der Bezeichnung Voice-excited Vocoder bekannt — und der Autokorrelations-Vocoder als Beispiel für einen sog. Zeitbereichs-Vocoder.

1. Der spracherregte Vocoder

Die Nachteile, die dem Kanal-Vocoder anhaften und seiner Verwendbarkeit in der Fernsprechtechnik entgegenstehen, lassen sich teilweise beheben, wenn man die Sprachcodierung nach dem Vocoder-Prinzip nur auf den Sprachschall innerhalb eines Teilfrequenzbandes anwendet. Die erstrebte Ersparnis an Übertragungsbandbreite wird dann gegen eine Verbesserung der Sprachqualität (Übertragung der Sprachgrundfrequenz) ausgetauscht. Dies ist bei dem von W. Meyer-Eppler und F. Enkel vorgeschlagenen Halb-Vocoder der Fall [40]. Bei diesem wird das Schallsignal innerhalb des Frequenzbandes von 300 bis 3000 Hz unverändert übertragen, der im Bereich zwischen 3000 und 10 000 Hz liegende Anteil des Schallsignals dagegen nach dem Prinzip des Kanal-Vocoders codiert, wobei man zur Übertragung dieses verhältnismäßig informationsarmen Sprachanteils nur ein Frequenzband von 500 Hz benötigt. Dieses Verfahren gestattet es, auch die Sprachkomponenten aus dem zur Übertragung im allgemeinen nicht herangezogenen oberen Frequenzbereich zu berücksichtigen, was zu einer Erhöhung der Erkennungssicherheit von Zisch- und Reibelauten führt. Voraussetzung für die Anwendbarkeit dieses Halb-Vocoders ist natürlich, daß ihm ein Sprachsignal der Bandbreite von etwa 300 bis 10 000 Hz angeboten wird, was über das öffentliche Fernsprechnetz mit seiner Bandbegrenzung auf 3400 Hz nicht möglich ist. Deswegen wird dieser apparativ keineswegs aufwendige Vocoder kaum praktische Bedeutung erlangen. Dagegen verdient eine in den Bell Telephone Labs., Murray Hill, N. J., USA, entwickelte und erprobte Variante des Halb-Vocoders, der sprachерregte Vocoder, besondere Beachtung [41]. Dieser Vocoder vereinigt in sich die Vorteile, das für die Fernsprechübertragung notwendige Frequenzband wirksam einzuengen, gleichzeitig aber die Sprachqualität im Vergleich zum Kanal-Vocoder erheblich zu steigern: Das gesamte zur Verfügung stehende Frequenzband zwischen 250 und 3650 Hz wird in zwei Teilbänder aufgeteilt: in ein Grundband zwischen 250 und 950 Hz und in ein zwischen 940 und 3650 Hz liegendes Restband. Das Grundband enthält jene Frequenzanteile der Sprache, die im wesentlichen die individuellen Unterschiede der einzelnen Sprecher kennzeichnen. Es wird direkt übertragen. Das Restband wird (wie beim Kanal-Vocoder) in 17 Teilbänder aufgeteilt, wobei die Bandbreite der ersten 14 dieser Kanäle jeweils 150 Hz beträgt, während die Bandbreite der drei restlichen Teilbänder größer ist. Nach Gleichrichtung und Filterung ist für jedes Teilband nur eine Übertragungsbreite von 25 Hz erforderlich. Auf der Syntheseseite wird das Grundband durch eine nichtlineare Verzerrung verbreitert (Bild 22).

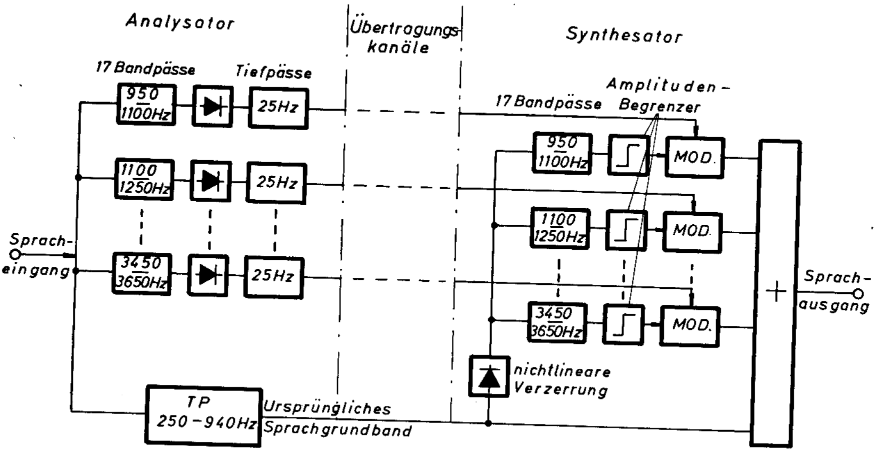

Analysator
Übertragungskanäle
Synthesator
17 Bandpässe
Tiefpässe
950
1100Hz
25Hz
1100
1250Hz
25Hz
3450
3650Hz
25Hz
Sprach-
eingang
Amplituden-
Begrenzer
17 Bandpässe
950
1100Hz
MOD.
1100
1250Hz
MOD.
3450
3650Hz
MOD.
+
Sprach-
ausgang
nichtlineare
Verzerrung
TP
250–940Hz
Ursprüngliches
Sprachgrundband

Bild 22. Blockschaltbild des sprachеrregten Vocoders (Voice-excited-Vocoder) von David und Schroeder

Beim Sprechen von stimmhaften Lauten entsteht dadurch ein breites, aus Harmonischen zur Sprachgrundfrequenz bestehendes Spektrum, beim Sprechen von stimmlosen Lauten dagegen ein breites Rauschspektrum. Dieses verbreiterte Grundspektrum wird nun ebenfalls in 17 Teilbänder aufgeteilt, wobei in jedem Teilband zur Unterdrückung von zu starken Pegelschwankungen eine Amplitudenbegrenzung vorgenommen wird. Die Schwingungen der einzelnen Teilbänder werden Modulatoren zugeführt und in diesen entsprechend den Sprachfluktuationen von den Signalen der 17 Vocoderkanäle moduliert. Durch Addition des Grundbandsignals und der von den Modulatoren abgegebenen Signale erhält man eine relativ natürlich klingende Sprache bei einer erreichbaren Einengung der Übertragungsbandbreite auf 1000 bis 1200 Hz.

Der spracherregte Vocoder erwies sich in zahlreichen Testversuchen allen bisher entwickelten Vocodern hinsichtlich der Qualität der synthetisierten Sprache überlegen. Es erübrigt sich, die in der Literatur veröffentlichten Meßergebnisse der Silbenverständlichkeit anzugeben, da wegen der unterschiedlichen Meßmethoden Vergleichsmöglichkeiten fehlen.

2. Der Autokorrelations-Vocoder

Sowohl dem Kanal-Vocoder als auch dem Halb-Vocoder (und einigen hier nicht erwähnten Varianten) liegt der von K. O. Schmidt angegebene Gedanke zugrunde, das Sprachspektrum frequenzmäßig zu analysieren und die aus dieser Frequenzanalyse gewonnenen Codesignale zu übertragen und zur Sprachsynthese zu verwenden. Nach einer völlig anderen, von M. Schroeder angegebenen Konzeption arbeiten die sog. Zeitbereichs-Vocoder [42], zu denen der Autokorrelations-Vocoder gehört (Bild 23).

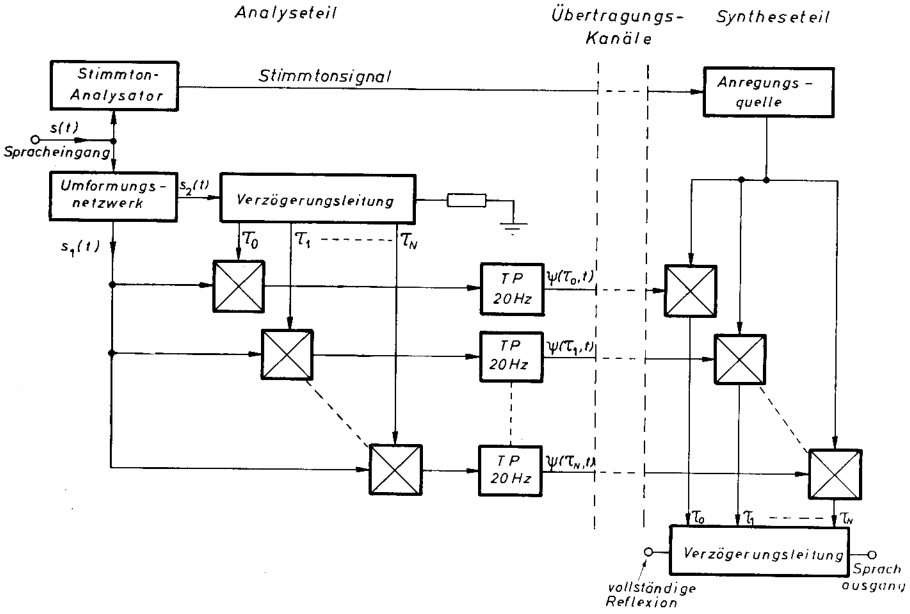

Analyseteil
Übertragungs-Kanäle
Syntheseteil
Stimmton-Analysator
Stimmtonsignal
Anregungsquelle
s(t)
Spracheingang
Umformungsnetzwerk
$s_2(t)$
Verzögerungsleitung
$s_1(t)$
τ_0
τ_1
τ_N
TP 20 Hz
$\psi(\tau_0,t)$
TP 20 Hz
$\psi(\tau_1,t)$
TP 20 Hz
$\psi(\tau_N,t)$
τ_0
τ_1
τ_N
Verzögerungsleitung
vollständige Reflexion
Sprachausgang

Bild 23. Schematische Darstellung eines Zeitbereichs-Vocoders, nach [42]

Beim Zeitbereichs-Vocoder werden aus dem Sprachsignal s(t) zwei zunächst nicht näher zu beschreibende Zeitfunktionen $s_1(t)$ und $s_2(t)$ gewonnen. Zur Übertragung wird die Kurzzeit-Korrelationsfunktion $\psi(\tau, t)$ aus $s_1(t)$ und $s_2(t)$ herangezogen, die nach dem Sampling-Theorem vollständig durch ihre Werte zu diskreten Zeitpunkten im Abstand von jeweils $\Delta\tau = \frac{1}{2 f_g}$, (mit f_g = obere Grenzfrequenz von $s_{1,2}(t)$) bestimmt ist. Zur Übertragung genügen also die Werte von $\psi(\tau, t)$

für diskrete Verzögerungszeiten τ_n (mit $n = 0,1, \ldots, N; \tau_{n+1} - \tau_n = \Delta\tau$). Das zu übertragende Parametersignal wird dann beschrieben durch die Funktion

$$\psi\,(\tau_n\,, t) = \int_{t-T}^{t} s_1\,(\vartheta) \cdot s_2\,(\vartheta - \tau_n)\, d\vartheta$$

mit T als Integrationsintervall. Beschränkt man sich auf ein Übertragungsfrequenzband < 5 kHz, so beträgt $\Delta\tau = 0{,}1$ ms, hat das Übertragungsfrequenzband eine Breite von 3 kHz, so ist $\Delta\tau = 0{,}167$ ms. Die maximale Verzögerungszeit τ_N muß so bemessen werden, daß die Sprachqualität noch zur Übertragung verständlicher Sprache ausreicht. Setzt man für $\tau_n = 2{,}5$ ms an, so benötigt man im Beispiel mit $\Delta\tau = 0{,}1$ ms für die Übertragung insgesamt 26 Kanäle, von denen jeder einen Probewert $\psi\,(\tau_n\,, t)$ zu übertragen hat, der sich zeitlich nur verhältnismäßig langsam ändert. Damit errechnet sich die für die Übertragung benötigte Gesamtbandbreite theoretisch zu $20 \times 26 = 520$ Hz.

Die Stimmtonfrequenz wird über einen besonderen Teilkanal an die Syntheseseite übertragen. Die dort eintreffenden Einzelsignale werden im Takte der Stimmtonfrequenz parallel abgetastet und die Abtastwerte in eine an einem Ende total reflektierende Verzögerungsleitung eingegeben. Im übrigen entspricht diese Verzögerungsleitung in ihrem Aufbau exakt der auf der Analyseseite vorhandenen. Die am Ausgang der Verzögerungsleitung entstehenden Spannungsschwankungen stellen damit eine von der Sprachgrundfrequenz gesteuerte Folge von symmetrischen Abbildern der Kurzzeit-Korrelationsfunktion $\psi\,(\tau, t)$ dar und werden nach Transformation in den akustischen Bereich als verständliche Sprache wahrgenommen.

Die Qualität dieser synthetisierten Sprache hängt wesentlich davon ab, wie die beiden Funktionen $s_1(t)$ und $s_2(t)$ aus $s(t)$ gewonnen werden. Wählt man $s_1(t) = s_2(t) = s(t)$, so wird das Amplitudenspektrum der Korrelationsfunktion gleich dem Leistungsspektrum von $s(t)$. Das sich ergebende Sprachsignal klingt wegen dieses Quadrierungseffektes hart und unnatürlich. Beim Autokorrelations-Vocoder wählt man dagegen $s_1(t) = s_2(t) \approx \sqrt{s(t)}$. Nach einer Veröffentlichung von M. Schroeder [42] genügt es, das Sprachspektrum in einem Umformungsnetzwerk in drei Teilbänder, z. B. < 700 Hz, 700 bis 2400 Hz und > 2400 Hz aufzuteilen und in jedem Teilband apparativ die Quadratwurzel aus der Amplitude zu ziehen.

Soweit bekannt, wurden Autokorrelations-Vocoder bisher nur als Modelle auf Rechenanlagen simuliert. Ein abschließendes Urteil über die mit einem solchen Zeitbereichs-Vocoder erreichbare Qualität der synthetisierten Sprache läßt sich z. Z. noch nicht fällen. Die Ergebnisse, die H. M. Christiansen und Mitarbeiter mit einem simulierten Autokorrelations-Vocoder erzielt haben [43], waren entgegen allen Erwartungen weniger befriedigend als die mit dem oben erwähnten Kanal-Vocoder erreichten Ergebnisse, obwohl der apparative Aufwand und die Versuchsbedingungen bei beiden Einrichtungen bewußt annähernd gleich gewählt waren. Diese Diskrepanz mag nach Angaben von Christiansen auf noch bestehende Unvollkommenheiten des Umformungsnetzwerkes zurückzuführen sein. Es bleibt abzuwarten, ob in den Forschungslaboratorien der USA in absehbarer Zeit günstigere Ergebnisse erzielt werden können.

C. Zusammenfassung und Ausblick

Die mit der Nachrichtenübertragung durch Sprache zusammenhängenden Probleme sind außerordentlich vielseitig und für viele Gebiete der Wissenschaft von aktuellem Interesse. Sie sind in besonderem Maße auch für die Nachrichtentechniker bedeutsam, zu deren Aufgabe es gehört, Verfahren zur rationelleren Übertragung von gesprochener Information zu finden. Zwei große, noch nicht befriedigend gelöste Probleme stehen im Mittelpunkt des Interesses: die Aufgabe, Sprache maschinell zu erkennen, und die Aufgabe, Sprache maschinell zu erzeugen. Beide Aufgaben sind nur zu lösen, wenn ausreichende Kenntnisse über den Aufbau und die Struktur der Sprache vorhanden sind. Die Entwicklung einer Maschine, die in der Lage ist, Sprache mit gleicher Vollkommenheit zu erkennen wie der Mensch, bereitet zur Zeit noch unüberwindlich scheinende Schwierigkeiten, vornehmlich, weil in keiner Weise bekannt ist, wie der Erkennungsvorgang beim Menschen abläuft. Die bisher entwickelten Verfahren beschränken sich ausschließlich auf die Erkennung von Wörtern aus einem sehr kleinen Wortschatz, wobei das einzelne Wort nur als akustisches und nicht als linguistisches Ereignis angesehen wird. Die hier beschriebenen Verfahren unterscheiden sich methodisch und aufwandsmäßig erheblich voneinander, während die erzielten Ergebnisse bemerkenswerterweise nur geringfügig voneinander abweichen. Es zeigt sich in allen neueren Arbeiten übereinstimmend, daß das Problem der automatischen Spracherkennung nur gelöst werden kann, wenn auch linguistische Merkmale zur Erkennung herangezogen werden.

Unter synthetischer Sprache wird hier ein Schallvorgang verstanden, der ohne unmittelbare Mitwirkung des menschlichen Stimmbildungssystems erzeugt wird. Ihre Erzeugung ist auf dreierlei Weise möglich:

1. durch Erregung einer mechanischen oder elektrischen Nachbildung des menschlichen Stimmtraktes,
2. durch Nachbildung und Hörbarmachung von Sprachspektren,
3. durch Verwendung von Phonemen, Phonemgruppen und Wörtern als „Sprachelemente“ zum Aufbau von Wörtern und Sätzen.

Während die Ergebnisse der zu den beiden ersten Gruppen gehörenden Verfahren wesentlich zur Lösung der Spracherkennungsprobleme beitragen und somit vornehmlich von wissenschaftlichem Interesse sind, haben die zur dritten Gruppe zählenden Verfahren heute darüber hinaus auch schon wirtschaftliche Bedeutung. Dies ist noch mehr bei den Verfahren zur Erzeugung quasisynthetischer Sprache — also bei den Vocodern — der Fall, bei denen statt eines normalen

Sprachsignals nur bestimmte, dem Sprachsignal entnommene Parameter übertragen und auf der Empfangsseite zur Regeneration des Sprachsignals wieder verwendet werden. Von den neueren Varianten des Vocoders haben nur der spracherregte Vocoder als Halbvocoder und der Autokorrelationsvocoder als Zeitbereichsvocoder Bedeutung erlangt.

Aus den beiden Themenkreisen sollen hier folgende Aufgaben erwähnt werden, deren Lösung durchaus im Bereich des Möglichen liegt und die für die Nachrichtentechnik von Bedeutung sein dürften:

1. Entwicklung einer Apparatur, mit deren Hilfe es möglich ist, wenige gesprochene Wörter, etwa die zehn gesprochenen Zahlwörter, automatisch mit hoher Sicherheit zu erkennen. Verwendungsmöglichkeit: Mündliche Dateneingabe in elektronische Rechenmaschinen; „Zwiesprache“ zwischen Mensch und Maschine; akustische Nummernwahl beim Fernsprechen unter Einsatz einer zentralen Erkennungsapparatur.
2. Entwicklung einer phonetischen Schreibmaschine, gegebenenfalls zunächst nur für die Laute eines beschränkten Wortschatzes.
3. Entwicklung von Sprachsynthese-Einrichtungen zur rationelleren Übertragung von Sprache. Anwendungsbeispiele: Bankauskünfte, Auskünfte von Versandgeschäften.
4. Weiterentwicklung von Vocodern zur Übertragung von Sprache hoher Qualität bei verminderter Bandbreite. Anwendungsmöglichkeiten: Transozean-Telephonie, zusätzlich zu dem bisher schon eingesetzten TASI-System, Nachrichtenverbindungen mit Raumschiffen.

Aus den vorliegenden Veröffentlichungen geht hervor, daß an der Lösung dieser Aufgabe nicht nur in Hochschul- und Industrielaboratorien in den USA und in der Sowjetunion, sondern mit beträchtlichem Aufwand auch in zahlreichen anderen Forschungsinstituten gearbeitet wird.

D. Schrifttum

I. Bücher und zusammenfassende Berichte

1. W. v. Kempelen: Mechanismus der menschlichen Sprache. J. V. Degen, Wien, 1791.
2. W. Endres: Methoden der Sprachanalyse und Sprachsynthese und ihre Bedeutung für die Nachrichtentechnik. Fernmelde-Ing., 11 (1957), H. 11.
3. W. Meyer-Eppler: Grundlagen und Anwendungen der Informationstheorie. Springer-Vlg., Berlin, Göttingen, Heidelberg, 1959.
4. G. Fant: Acoustic theory of speech production. ’s-Gravenhage: Mouton & Co., 1960.
5. B. Malmberg: Structural Linguistics and Human Communication. Springer-Vlg., Berlin, Göttingen, Heidelberg, 1963.
6. J. L. Flanagan: Speech Analysis, Synthesis and Perception. Springer-Vlg., Berlin, Heidelberg, New York, 1965.
7. N. Lindgren: Machine recognition of human language,
   Pt. I: Automatic speech recognition. IEEE Spectrum, March 1965, S. 114—136;
   Pt. II: Theoretical models of speech perception and language. IEEE Spectrum, April 1965, S. 44—59.

II. Einzelveröffentlichungen

10. K. Otten: Simulation and evaluation of phonetic speech recognition techniques; Vol. 4: An indexed bibliography of speech analysis, synthesis, and processing. Techn. Document. Rep. No. RTD-TDR-63-4005, Vol. 4, April 1964. Prepared by The National Cash Register Comp., Dayton, Ohio, USA.
11. A. Hoppe: Schwierigkeiten und Möglichkeiten der maschinellen Übersetzung, aus „Welt im Werden“, Kybernetische Maschinen. S. Fischer Vlg., Frankfurt (M), 1964, S. 309—325.
12. Sprache und Schrift im Zeitalter der Kybernetik. Vlg. Schnelle, Quickborn bei Hamburg, 1963.
13. W. Endres: Verfahren zur Erzeugung synthetischer und quasisynthetischer Sprache, aus „Sprache und Schrift im Zeitalter der Kybernetik“. Vlg. Schnelle, Quickborn bei Hamburg, 1963, S. 83—100.
14. G. E. Peterson und H. L. Barney: Control methods used in a study of the vowels. J. Acoust. Soc. Amer., 24 (1952), S. 175—184.
15. R. K. Potter und J. C. Steinberg: Towards specification of speech. J. Acoust. Soc. Amer., 22 (1950), S. 807—820.
16. G. E. Peterson: Vocal gestures. Bell Labor. Rec., 29 (1951), S. 500—503, S. 510.
17. G. W. Hughes und M. Halle: Spectral properties of fricative consonants. J. Acoust. Soc. Amer., 28 (1956), S. 303—315.
18. W. Endres: Über die Größe des „weitschweifigen“ Anteils in der Sprache und seine Bedeutung für den Fernsprechweitverkehr. Fernmeldetechn. Z., 8 (1955), S. 89—93.
19. B. Gold: Computer program for pitch extraction. J. Acoust. Soc. Amer., 34 (1962), H. 7, S. 916—921.
20. A. M. Noll: Short-time spectrum and „cepstrum“ techniques for vocal-pitch detection. J. Acoust. Soc. Amer., 36 (1964), H. 2, S. 296—302.
21. J. W. Forgie und C. D. Forgie: Results obtained from a vowel recognition computer program. J. Acoust. Soc. Amer., 31 (1959), H. 11, S. 1480—1489.
22. J. W. Forgie und C. D. Forgie: A computer program for recognizing the English fricative consonants /f/ and /θ/. Vorgetragen auf dem 4. Internat. Congress on Acoustics, Aug. 1962.
23. M. Halle, G. W. Hughes und J.-P. A. Radley: Acoustic properties of stop consonants. J. Acoust. Soc. Amer., 29 (1957), S. 107—116.
24. G. W. Hughes und M. Halle: On the recognition of speech by machine. Aus: Information Processing, Proc. Internat. Conf. Inform. Processing, UNESCO, Paris, 1959, R. Oldenbourg, München, und Butterworths, London, 1960, S. 252—256.
25. P. Denes und M. V. Mathews: Spoken digit recognition using time-frequency pattern matching. J. Acoust. Soc. Amer., 32 (1960), S. 1450—1455.
26. H. G. Tillmann, et al.: DAWID I — ein Beitrag zur automatischen „Spracherkennung“. Vorgetragen auf dem 5e Congrés International d'Acoustique, Liège 1965, Vortrags-Nr. A 12.
27. W. C. Dersch: A decision logic for speech recognition. IBM-Techn. Rep., Dez. 1961.
28. W. C. Dersch: Shoebox, a voice responsive machine. Datamation Mag., Juni 1962.
29. H. Kusch: Automatische Erkennung gesprochener Zahlen (Ziffern). Nachrichtentechn. Z., 18 (1965), S. 57—62.
30. W. Endres: Über die Redundanzverminderung bei der Zeichenerkennung. Nachrichtentechn. Z., 16 (1963), S. 529—535.
31. A. M. Liberman, F. S. Cooper, K. S. Harris und P. F. MacNeilage: A motor theory of speech perception. Proc. Speech Commun. Seminar, Stockholm, 1962, Bd. 2, Vortrag D. 3.
32. G. Fant, J. Mártony, U. Rengman und A. Risberg: OVE II synthesis strategy. Proc. Speech Commun. Seminar, Stockholm, 1962, Bd. 2, Vortrag F 5.

33. F. S. Cooper, A. M. Liberman, L. Lisker und Jane H. Gaitenby: Speech synthesis by rules. Proc. Speech Commun. Seminar, Stockholm, 1962, Bd. 2, Vortrag F 2.
34. K. Küpfmüller und O. Warns: Sprachsynthese aus Lauten. Nachrichtentechn. Fachber., Bd. 3 (1956), S. 28—31.
35. O. Warns: Über die Synthese von Sprache aus Lauten und Lautkombinationen. Diss. Techn. Hochschule Darmstadt, 1957,
36. B. Cramer: Sprachsynthese zur Übertragung mit sehr geringer Kanalkapazität. Nachrichtentechn. Z., 17 (1964), H. 8, S. 413—424.
37. J. DuBois: IBM Audio response system. Modern Commun., (1964) H. July-August-September, S. 10—12.
38. K. O. Schmidt: Verfahren zur besseren Ausnutzung des Übertragungsweges. DRP Nr. 594 976 vom 27. 2. 1932; Zusatzpatent Nr. 722 607 vom 14. 1. 1939.
39. Speech Transmission Laboratory Stockholm, Quarterly Progress and Status Report. 2 (1963), vom 15. 7. 1963, S. 19 ff.
40. W. Meyer-Eppler und F. Enkel: Improving the speech intelligibility in channels of reduced bandwidth. URSI-Congr., Den Haag, 1954, Paper 65/VI.
41. E. E. David, Jr., M. R. Schroeder, B. F. Logan und A. J. Prestigiacomo: Voice-excited vocoders for practical speech bandwidth reduction. Trans. 1962, Internat. Symposium Inform. Theory, Brussels, 1962, S. 101—105.
42. M. R. Schroeder, B. F. Logan und A. J. Prestigiacomo: New methods for speech analysis-synthesis and bandwidth compression. Proc. Speech Commun. Seminar, Stockholm, 1962, Bd. 2, Vortrag G 8.
43. H. M. Christiansen, L. Schweizer, A. Séthy und F. Hoffenreich: New correlation vocoder. J. Acoust. Soc. Amer., 40 (1966), H. 3, S. 614—620.

Fritz Jaeschke

Überblick über den Stand der heutigen Farbfernsehtechnik

- I. Physiologie des Helligkeits- und Farbensehens
- II. Technik der Farbfernseh-Übertragung
  - A. Vorläufer der modernen Übertragungsverfahren
  - B. Das NTSC-System
    - 1. Farbmetrische Grundlagen
    - 2. Technik der Farbartkodierung
    - 3. Dekodierung des Farbartsignals
    - 4. Eigenschaften und Grenzen des NTSC-Verfahrens
  - C. Das SECAM-System
    - 1. Arbeitsweise
    - 2. Eigenschaften
  - D. Das PAL-System
    - 1. Arbeitsweise und Eigenschaften
    - 2. Koder- und Dekodertechnik
- III. Transkodierung
  - A. NTSC/PAL-Transkodierung
  - B. SECAM-NTSC/PAL-Transkodierung
- IV. Farbbildwiedergabe
- V. Schrifttum

I. Physiologie des Helligkeits- und Farbensehens

Die Fähigkeit des menschlichen Auges, optische Wahrnehmungen nicht nur nach ihrer Helligkeitsabstufung, sondern auch nach ihrer spektralen Verteilung auswerten zu können, wurde in der bisherigen Schwarzweiß-Fernsehtechnik nicht ausgenutzt, obgleich die Farbe eine wesentliche Bereicherung des Informationsinhaltes eines Bildes darstellt. Der Eindruck einer naturgetreuen Nachbildung einer Szene wird dem menschlichen Auge nur dann befriedigend vermittelt, wenn auch der farbliche Inhalt dieser Szene dargestellt wird. Eine Beschränkung nur auf die Wiedergabe der Helligkeitsverteilung in einem Schwarzweißbild muß ein — wenn auch oft aus künstlerischen Motiven beabsichtigtes — Surrogat bleiben.

Über die Physiologie des Gesichtssinns und besonders des Farbensehens sind zahllose Hypothesen entwickelt worden. Tatsächlich gibt es aber bis heute keine Theorie, die Physik und Physiologie des Farbsehens zweifelsfrei und geschlossen erklärt. Das Auge ist nach dem Prinzip der camera obscura gebaut, d. h., durch eine Sammellinse wird auf dem Augenhintergrund, der Netzhaut, ein Abbild des Gegenstandes entworfen. Eingebettet in der Netzhaut liegt ein Mosaik von stäbchenförmigen Sinneszellen, die als optisch-elektrische Wandler den auf jeweils ein Flächenelement auftreffenden Lichtstrom über einen komplizierten chemischen Mechanismus in adäquate elektrische Impulse umsetzen. Über Nervenleitungen werden diese Ströme der „Auswertungszentrale“ im Gehirn zugeleitet.

Das Prinzip optischer Wahrnehmung beruht also darauf, das auf der Netzhaut projizierte Bild in Flächenelemente zu zerlegen, deren mittlere Helligkeitswerte simultan an das Gehirn übermittelt werden. Dieser Mechanismus des Helligkeitssehens, d. h. der undifferenzierten, von der spektralen Verteilung des Lichtes unabhängigen Wahrnehmung, wird für das menschliche Auge ergänzt durch ein System von weiteren Sinneszellen, den sog. Zapfen, die ebenfalls über die Fläche der Netzhaut verteilt liegen. Mit ihrer Hilfe wird die Unterscheidung von Farben ermöglicht. Die Anordnung der Zapfen ist weniger dicht als die der Stäbchen, so daß Farbstrukturen nicht so scharf wahrgenommen werden wie Helligkeitsübergänge. Die Tatsache, daß der Schwellwert der Lichtintensität für die Funktion der Zapfen sehr viel höher liegt als bei den Stäbchen, bewirkt, daß in der Dämmerung keine Farben unterschieden werden können. In der Dämmerung sieht man ausschließlich über die lichtempfindlicheren Stäbchen.

Man nimmt an, daß die Zapfen in mindestens drei Gruppen unterschieden werden können, die für verschiedene Spektralbereiche des Lichtes sensibilisiert sind. Eine Gruppe spricht nur auf den gelbgrünen, eine weitere auf den roten und schließlich die dritte auf den blauen Bereich des Spektrums an. Die Wahrnehmung unterschiedlicher Farbnuancen, von denen der Mensch etwa 160 zu unterscheiden vermag, beruht darauf, daß die Zapfen verschiedener Spektralempfindlichkeit verschieden stark von dem einfallenden Licht angeregt werden. Daraus folgt, daß zur Wiedergabe jeder Farbe eines Bildes drei verhältnismäßig eng begrenzte Spektralbereiche ausreichend sind, soweit sie entsprechend der Sensibilität der Zapfen passend ausgewählt werden. Addiert man zu einem langwelligen roten Licht kurzwelliges blaues und grünes Licht aus dem mittleren Bereich des Spektrums, so empfindet das Auge bei gleicher Intensität aller Lichtströme „weiß“, die gleiche Empfindung also, die man für Licht gleichmäßiger spektraler Verteilung feststellt. Durch Variation der Lichtintensitäten der drei Quellen lassen sich alle Farben des Spektrums nachbilden.

Diese physiologische Eigenart des Auges bildet die Grundlage für alle Methoden der Farbwiedergabe, die nach dem Prinzip der „additiven Farbmischung“ arbeiten. Der Farbdruck benutzt feine ineinander geschachtelte Raster solcher monochromatischen Farbauszüge, denen meistens noch ein Schwarzweißdruck überlagert wird, um Kontrast und Schärfe des Bildes — unter Einschaltung des Stäbchen-Sehens — zu steigern.

II. Technik der Farbfernseh-Übertragung

Auch das heutige Farbfernsehen beruht auf diesen physiologischen Grundlagen des Farbensehens: Drei voneinander unabhängige monochromatische Farbauszüge der Vorlage müssen übertragen werden. Diese Schwierigkeit war bei der Entwicklung des Farbfernsehens zu überwinden; denn die Übertragung von drei Bildsignalen anstelle eines einzigen Helligkeitssignales im Schwarzweiß-Fernsehen stellt höhere Anforderungen an die Kapazität der Übertragungseinrichtungen. Wenn man die gleiche Auflösung und Schärfe des Bildes am Empfangsort gewährleisten will, wie sie vom Schwarzweiß-Fernsehbild gefordert wird, so ist die dreifache Informationsmenge zu verarbeiten und daher auch die Bandbreite des Übertragungskanals zu verdreifachen. Es zeigte sich bald, daß ein solches Verfahren nicht nur unwirtschaftlich ist, sondern auch aus Gründen der Frequenzplanung, d. h. der rationellen Ausnutzung der für Rundfunkzwecke zur Verfügung stehenden Frequenzbänder, nicht realisierbar ist. Ein weiteres schwerwiegendes Argument kam noch hinzu: Ein einzuführendes Farbfernsehen muß mit dem vorhandenen Schwarzweiß-Fernsehen kompatibel sein. Es muß gewährleistet sein, daß vorhandene Geräte, vor allem die Empfängereinrichtungen, weiterhin auch bei der Übertragung von Farbsignalen verwendbar bleiben. Natürlich gibt ein Schwarzweiß-Empfänger dabei das Farbfernsehprogramm nur in Schwarzweiß wieder. Die großen Investitionen, die in Übertragungseinrichtungen und Heimempfängern angelegt sind, dürfen nicht durch die Einführung eines neuen Systems entwertet werden, das die Forderung nach Kompatibilität unberücksichtigt läßt. Umgekehrt muß ein Farbempfänger in der Lage sein, auch Schwarzweiß-Sendungen aufzunehmen; denn die Kosten für Farbprogramme liegen erheblich höher als die für Schwarzweiß-Übertragungen, so daß zumindest zu Beginn des Farbfernsehens ein großer Teil des Gesamtprogramms weiterhin in Schwarzweiß gesendet werden muß.

A. Vorläufer der modernen Übertragungsverfahren

Das Simultanverfahren hat versucht, diese Schwierigkeiten dadurch zu umgehen, daß es die drei Farbwertsignale Rot, Grün und Blau mit verminderter Bandbreite (z. B. 2 MHz) übertrug, da das Auge für farbige Details des Bildes nur ein geringes Auflösungsvermögen hat. Die für die Bildschärfe maßgebende Feinstruktur wurde als reines Helligkeitssignal gemeinsam für alle drei Kanäle übertragen (Bild 1). Es gelang auf diese Weise, die Übertragungsbandbreite auf den doppelten Wert des Schwarzweiß-Bildes, bezogen auf die gleiche Auflösung, zu beschränken. Die Frage der Kompatibilität blieb damit jedoch ungelöst.

Spätere Entwicklungen strebten eine Lösung des Bandbreitenproblems durch sequentielle Übertragung der Farbwertsignale an. Zunächst versuchte man in aufeinanderfolgenden Teilbildern die Rot-, Grün- und Blau-Auszüge zu senden, wobei man unterstellte, daß die Integrationsfähigkeit des Auges ausreicht, um die additive Mischung der Auszüge durchzuführen. Wie sich zeigte, mußte man aber, um Flimmereffekte zu vermeiden, die Bildwechselzahl und damit auch die Bandbreite soweit erhöhen, daß schließlich doch keine Einsparung zu erzielen war. Auch die zeilensequentielle und schließlich die punktsequentielle Übertragung lieferten keine befriedigenden Ergebnisse, wobei für das zeilensequentielle Verfahren das Kompatibilitätsproblem ebenfalls ungelöst blieb. Der entscheidende Durchbruch gelang erst — in konsequenter Weiterführung der in dem punktsequentiellen Verfahren erarbeiteten Erkenntnisse — mit dem NTSC-Verfahren [1].

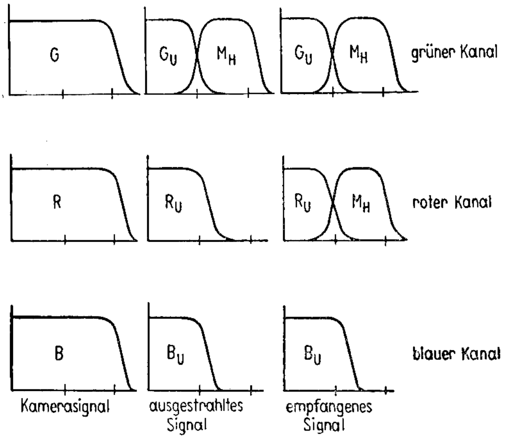


Bild 1. Simultan-Verfahren mit reduzierter Bandbreite der Farbwertsignale und gemeinsamer Übertragung der hohen Frequenzen [20]

G = Grünkanal
R = Rotkanal
B = Blaukanal
M_H = gemeinsame hochfrequente Komponenten (mixed highes)
Index U = Bandbegrenztes Signal

B. Das NTSC-System

1. Farbmetrische Grundlagen

Wenn auf eine detaillierte Darstellung der bisherigen Verfahren verzichtet wurde, so geschah das, um den Rahmen dieses Berichtes nicht unnötig weit zu spannen; vielmehr sollten nur die wesentlichen Stationen auf dem Wege zur Entwicklung des Farbfernsehens ohne jeden Anspruch auf Vollständigkeit angedeutet werden. Mit dem NTSC-System wurde indessen ein Abschnitt erreicht, der von grundsätzlicher Bedeutung ist, weil damit zum ersten Mal ein betriebsfähiges System geschaffen wurde, das allen Anforderungen an Kompatibilität und Qualität des übertragenen Bildes gerecht wurde.

Eine kurze Betrachtung über die farbmetrischen Grundlagen des NTSC-Systems und damit auch der übrigen modernen Verfahren, die mehr oder weniger weitgehende Modifikationen des NTSC-Systems darstellen, soll zunächst vorangestellt werden. Die heute bekannten und verwendeten Geräte zur Bildaufnahme (Kameras, Film- oder Diaabtaster) liefern Farbauszugssignale (Farbwertsignale) z. B. für Rot, Grün und Blau. Diese Signale tragen Informationen, die unterschiedliche Sinnesorgane ansprechen, nämlich einerseits die nur die Helligkeitsinformation verarbeitenden Stäbchen und andererseits die auf Farbinformationen ansprechenden Zapfen. Auflösung und Schärfe des Bildes wird im wesentlichen über die Helligkeitsinformation vermittelt und nur für diese wird daher eine hohe Informationsdichte, das heißt eine große Bandbreite des Übertragungskanals verlangt. Die Farbinformation kann mit wesentlich kleinerer Bandbreite übertragen werden, ohne daß dadurch eine Verschlechterung der Bildqualität bemerkbar würde. Es liegt daher nahe, die unterschiedlichen Informationsbestandteile der Farbwertsignale voneinander zu trennen und ihnen eigene Übertragungskanäle entsprechend ihrem Informationsgehalt zuzuweisen.

---

[1] NTSC = *National Television Standard Comitee*

Im weißen Licht, das aus roten, grünen und blauen Lichtströmen gleicher Stärke zusammengesetzt ist, trägt die grüne Komponente mit 59 % den Hauptanteil an dem vom Auge wahrgenommenen Helligkeitseindruck. Rot liefert 30 % und Blau schließlich nur 11 % der gesamten Helligkeitswahrnehmung. Addiert man die drei Farbwertsignale in diesem anteiligen Verhältnis zueinander, so erhält man ein resultierendes Signal (Helligkeits- oder Y-Signal), das wie das Bildsignal des Schwarzweiß-Fernsehens alle Informationen über die Helligkeitsverteilung des Bildes enthält.

$$Y = 0{,}3\,R + 0{,}59\,G + 0{,}11\,B\,. \tag{1}$$

Es wird in der gleichen Technik, vor allem mit der gleichen Bandbreite, übertragen wie in der Schwarzweiß-Technik und liefert am Empfangsort ein normales Schwarzweiß-Bild. Dieser Prozeß der Signalmischung bedeutet mathematisch eine Koordinatentransformation, bei der das dreiparametrige System R, G, B in ein neues, linear davon abhängiges System überführt wird. Zur vollständigen Definition eines Punktes in diesem neuen System sind wieder drei Koordinaten erforderlich, von denen eine mit dem Y-Signal festgelegt ist. Zwei weitere, welche die zusätzlich erforderliche Farbinformation definieren, sind noch zu wählen. Die Kennzeichnung einer Farbart erfordert zwei Parameter, weil jede Farbe einerseits durch den Farbton (Lage im Spektrum) und andererseits durch ihre Sättigung (Mischungsverhältnis mit Weiß) gekennzeichnet ist. Reine Spektralfarben weisen die höchste erreichbare Sättigung auf. Ihre fortschreitende „Verdünnung“ mit Weiß läßt sie zu leichten Pastelltönen und schließlich zu Weiß verblassen. In Bild 2 sind in einer Farbtafel alle für das menschliche Auge wahrnehmbaren Farbarten dargestellt. Am Rand der hufeisenförmig begrenzten Fläche liegen die reinen Spektralfarben, die bis zur Mitte in Weiß verlaufen. In dieser Fläche sind die drei Farbarten der heute in Farbbildröhren verwendeten Phosphore aufgetragen. Das zwischen diesen Punkten aufgespannte Dreieck umschließt alle durch additive Mischung aus diesen Primärfarben zu erzeugenden Farbtöne. Die Anzahl der wiederzugebenden Farben ist umso größer, je größer die Sättigung und der spektrale Abstand der Primärfarben gewählt werden. Für die Übertragung muß die jeweils erforderliche Farbart durch die beiden noch nicht festgelegten Parameter des neuen Koordinatensystems gekennzeichnet werden. Grundsätzlich könnte man dazu den Mischungsanteil von zwei der drei Primärfarben heranziehen. Die dritte Komponente wäre im Empfänger durch einfache Addition bzw. Subtraktion unter Benutzung des Y-Signals abzuleiten. Zweckmäßiger ist es indessen, auch hier eine Koordinatentransformation vorzunehmen, indem

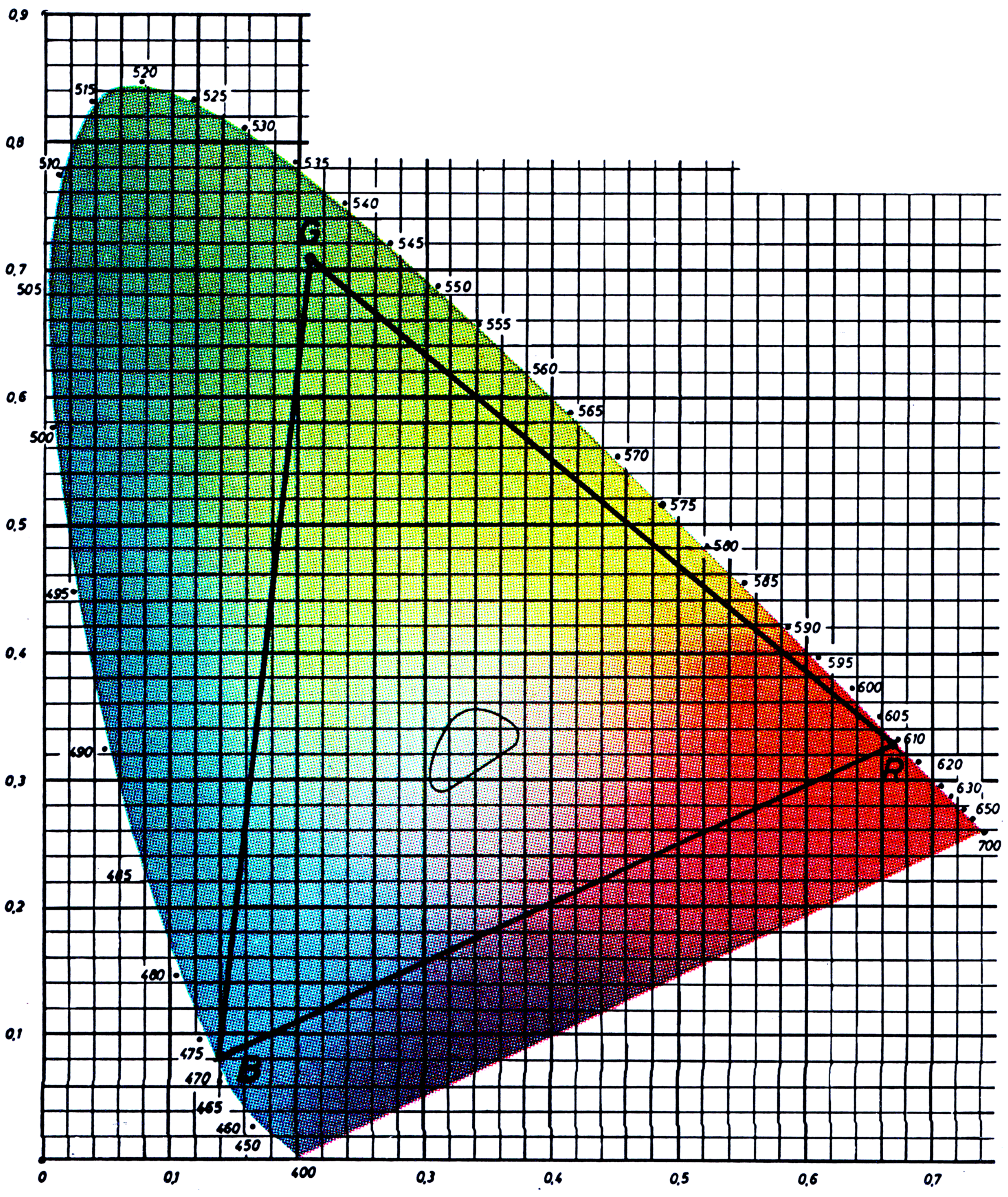


Bild 2. Normfarbtafel mit Farborten der Leuchtschirmphosphore einer Farbfernseh-Röhre. Alle Farbarten innerhalb des eingezeichneten Dreiecks können wiedergegeben werden. Zahlenwerte am Figurenrand bezeichnen die Wellenlängen der reinen Spektralfarben

anstelle der Farbwertsignale R und B die Farbdifferenz-Signale U = B − Y und V = R − Y überträgt. In einer vereinfachten Darstellung der Farbtafel, dem Oswald'schen Farbkreis, ist dieses neue Koordinatensystem aufgetragen (Bild 3). Es hat seinen Ursprung im Weißpunkt, weil hierfür gilt:

$$R = G = B \,. \tag{2}$$

Damit wird nach Einsetzen aus Gleichung (1)

$$\begin{aligned} U_W &= B - Y = B - (0{,}30\,B + 0{,}59\,B + 0{,}11\,B) \equiv 0 \\ U_W &= R - Y = R - (0{,}30\,R + 0{,}59\,R + 0{,}11\,R) \equiv 0 \,. \end{aligned} \tag{3}$$

In diesen Beziehungen zeigt sich der übertragungstechnische Vorteil in der Anwendung von Farbdifferenzsignalen: Für unbunte (graue oder weiße) Bildteile wird nur das Helligkeitssignal, dagegen keine zusätzliche Farbinformation übertragen. Die Werte in diesem System können im Gegensatz zu den Farbwerten R, G, B positives und negatives Vorzeichen annehmen. Das zur Übertragung benutzte System enthält damit folgende Signalkomponenten

$$\begin{aligned} Y &= & 0{,}3\ \ R + 0{,}59\,G + 0{,}11\,B \\ U &= B - Y = - & 0{,}3\ \ R - 0{,}59\,G + 0{,}89\,B \\ V &= R - Y = + & 0{,}70\,R - 0{,}59\,G - 0{,}11\,B \,. \end{aligned} \tag{4}$$

Die Definition der Farbart durch die U- bzw. V- Komponenten erweist sich besonders vorteilhaft für die Konstruktion einfacher und billiger Empfängerschaltungen, weil zur Rückgewinnung der zur Steuerung der Wiedergaberöhre erforderlichen Farbwertsignale R und G nur eine Addition des Helligkeitssignals zum Farbdifferenzsignal erforderlich ist. Auch die Ableitung des dritten Farbwertsignals G ist mit Hilfe einer sehr einfachen Matrizierung möglich. Nun zwingen aber übertragungstechnische Erfordernisse des NTSC-Systems, von denen im nächsten Abschnitt die Rede sein wird, zu unterschiedlicher Dimensionierung in den Bandbreiten beider Farbdifferenzsignale. Während für das eine Signal eine Übertragungsbandbreite von etwa 1,3 MHz zur Verfügung steht, darf das andere nicht mehr als etwa 0,6 MHz beanspruchen. Das Auge zeigt für die verschiedenen Bereiche der Farbtafel unterschiedliches Auflösungsvermögen. Es ist daher sinnvoll, den Farbbereichen geringerer Auflösung eine kleine Übertragungsbandbreite zuzuordnen, den Farben, die eine hohe Definition erfordern, dagegen das breitere Band. Das in Bild 3 eingezeichnete J/Q-Achsensystem, das gegenüber dem U/V-System um 33° gedreht wurde, ist so angeordnet, daß in der Nähe der Q-Achse die Farben liegen, die mit geringer Auflösung übertragen werden können. Die J-Achse erfaßt die Farbtöne mit hoher Schärfeanforderung.

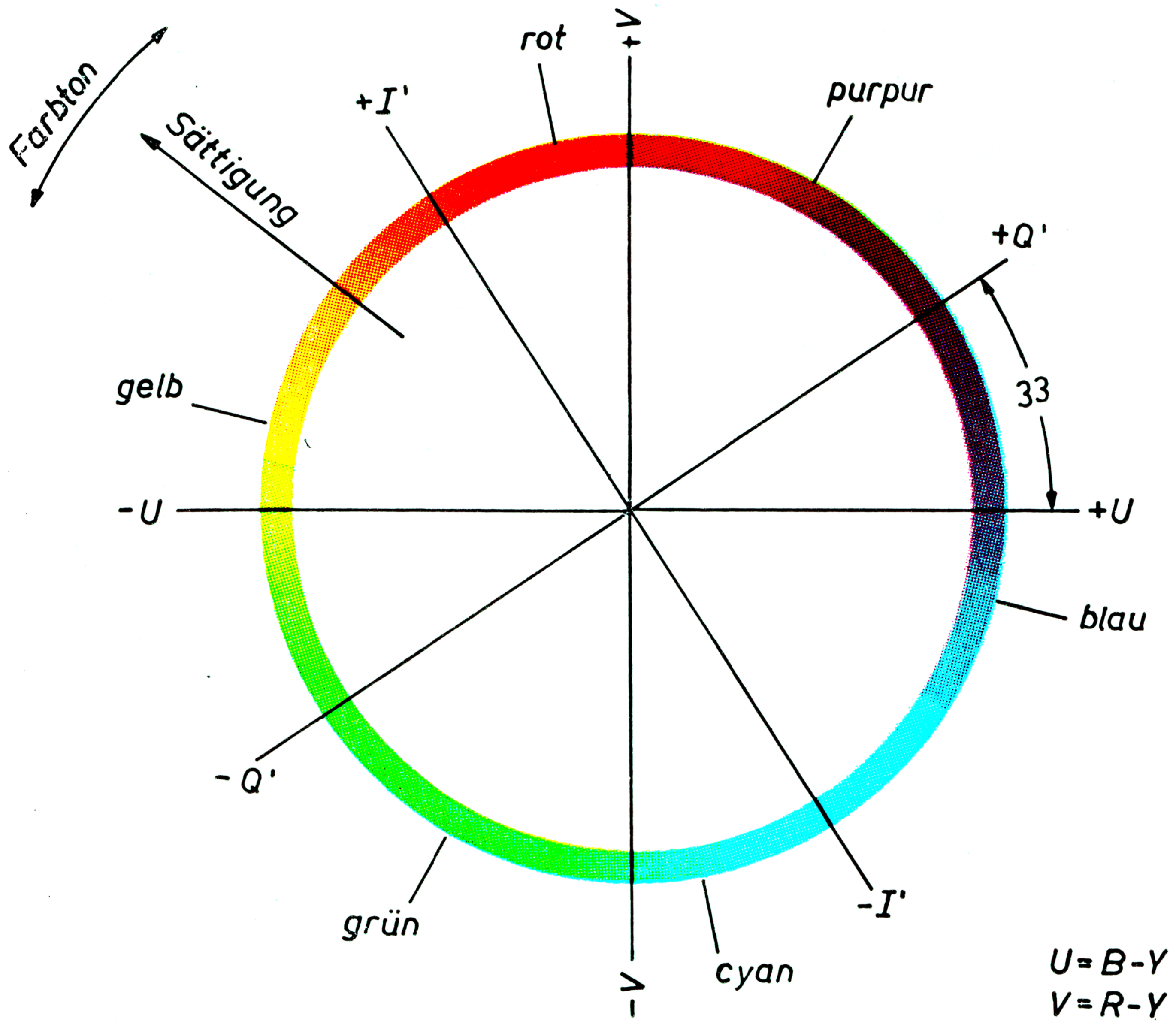


Bild 3. Farbkreis zur Darstellung des Farbträgervektors in der Farbträgerebene. Jedem Winkel ist ein Farbton zugeordnet. Die Amplitude des Vektors bestimmt die Farbsättigung [9]

Für den Übergang aus dem U/V- in das J/Q-System hat man die Gleichungen:

(5)
$$J = 0{,}74\,V - 0{,}27\,U$$
$$Q = 0{,}48\,V + 0{,}41\,U$$

oder unter Verwendung der Farbwertsignale R, G, B:

(6)
$$J = 0{,}60\,R - 0{,}28\,G - 0{,}32\,B$$
$$Q = 0{,}21\,R - 0{,}52\,G + 0{,}31\,B\,.$$

Das NTSC-Verfahren verwendet diese Koordinaten bei der Kodierung des Farbartsignals. Bei der Dekodierung im Heimempfänger wird dagegen im allgemeinen wegen der einfacheren Schaltungstechnik auf die U/V-Koordinaten zurückgegangen (Äquibandempfänger). Im Gegensatz hierzu können die später zu behandelnden europäischen Verfahren aufgrund ihrer verbesserten Modulationsverfahren sender- und empfängerseitig die U/V-Koordinaten anwenden.

2. Technik der Farbartkodierung

Die insgesamt verfügbare Übertragungs-Bandbreite von 5 MHz wird in vollem Umfang vom Helligkeitssignal beansprucht. Die zusätzliche Farbinformation muß daher gemeinsam mit dem Y-Signal im gleichen Kanal untergebracht werden. Das geschieht dadurch, daß im oberen Teil des Übertragungsbandes (bei etwa 4,43 MHz) ein Hilfsträger eingeführt wird, dem die Farbdifferenzsignale aufmoduliert werden. Das NTSC-System benutzt hierzu die Quadratur-Modulation, bei der der Hilfsträger in zwei zueinander senkrechte Komponenten aufgespalten wird. Diese werden in Gegentaktmodulatoren mit je einem der beiden Farbdifferenzsignale amplitudenmoduliert. Bild 4 zeigt den grundsätzlichen Aufbau eines solchen Doppelgegentaktmodulators. Die abgegebenen Trägerspannungen wachsen mit dem Absolutwert der modulierenden Signale und werden Null, wenn die Signalspannungen verschwinden. Das Vektordiagramm in Bild 4 zeigt die Zusammensetzung des geträgerten Farbartsignals aus den beiden Teilkomponenten. Die Phasenlage des Farbartzeigers wird durch den Farbton bestimmt, seine Amplitude ist proportional der Farbsättigung. Für Bildweiß verschwindet das Trägersignal.

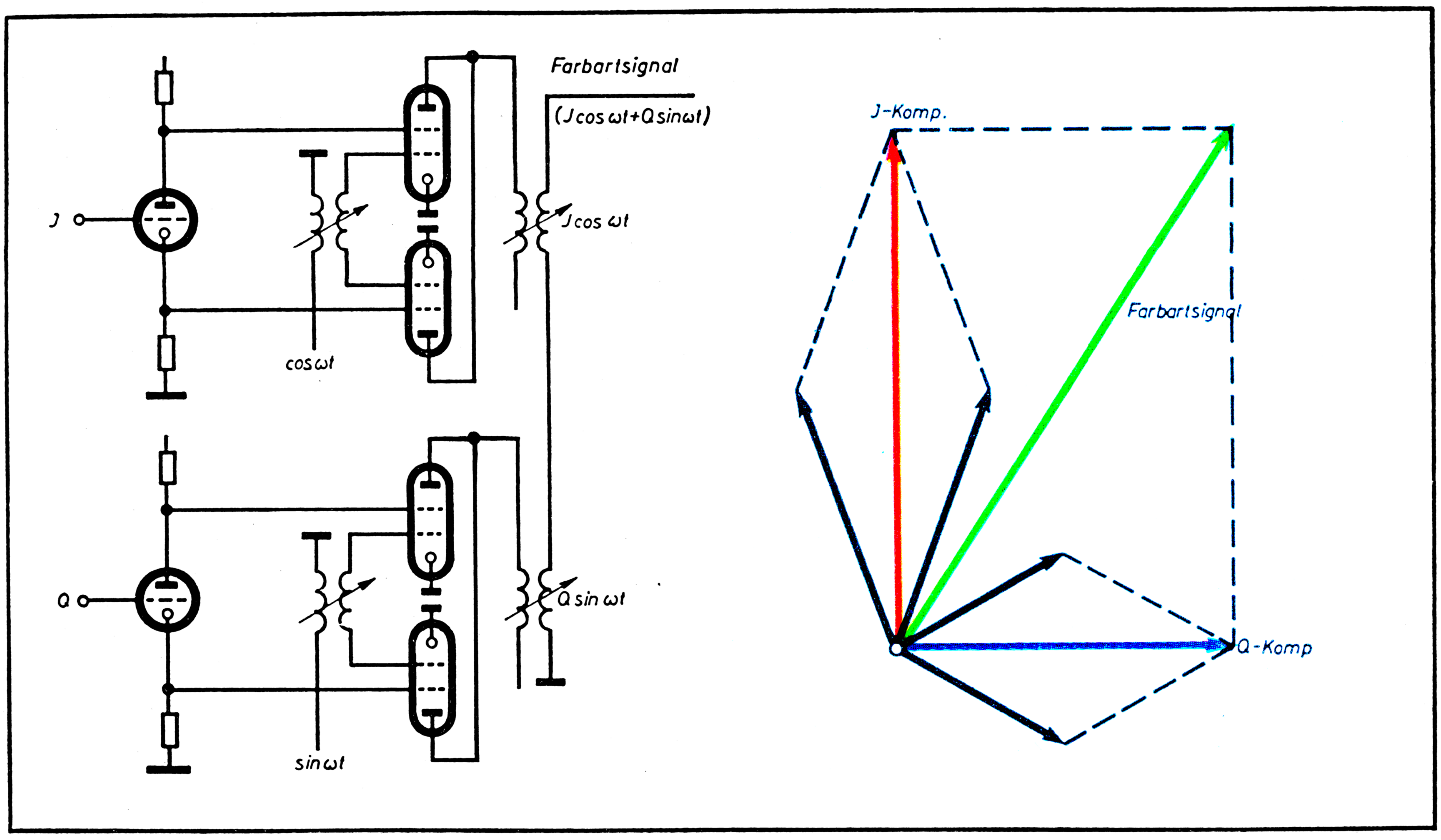


Bild 4. Quadraturmodulation mit Trägerunterdrückung
links: Doppel-Gegentaktmodulator zur Trägerung des NTSC-Farbartsignals
rechts: Vektordiagramm zur Zusammensetzung der J- und Q-Komponente zum NTSC-Farbartsignal

Die Verschachtelung der Helligkeits- und Farbinformation im gleichen *Übertragungsband führt zu einer gegenseitigen Beeinflussung der* Signale. Das Helligkeitssignal weist z. B. bei vertikalen Kanten im Bild Frequenzkomponenten auf, die in den Bereich der Farbträger-Frequenzen fallen und daher im Empfänger störende Farbmuster hervorrufen. Umgekehrt verursacht der Farbträger in der kompatiblen Schwarzweiß-Wiedergabe des Bildes, wenn keine besonderen Schaltmaßnahmen zu seiner Absiebung vorgesehen sind, moiréartige Störmuster, wie sie für sinusförmige Störungen charakteristisch sind. Diese gegenseitige Beeinflussung ist dann am geringsten, wenn man als Farbträgerfrequenz f_F ein ungerades Vielfaches der halben Zeilenfrequenz f_H wählt:

$$f_F = (2n - 1) \cdot f_H/2$$

mit $n = 284$ und $f_H = 15\,625$ Hz

wird: $f_F = 4\,429\,687{,}5$ Hz .

Das bei dieser Frequenz auftretende Störmuster in der kompatiblen Wiedergabe gleicht dem Punktraster eines Zeitungsklischees. Die Punkte maximaler Helligkeit, die von den Amplitudenspitzen des Trägers verursacht werden, stehen in aufeinanderfolgenden Zeilen auf Lücke (Bild 5). Aus normalem Betrachtungsabstand ist dieses von unten nach oben langsam über das Bild durchlaufende Muster allerdings kaum stärker bemerkbar als die Zeilenstruktur des Schwarzweiß-Bildes. Außerdem werden sowohl die Farb- als auch die Schwarzweiß-Empfänger in Zukunft mit Sperren ausgerüstet sein, die für die Unterdrückung dieses Rasters sorgen.

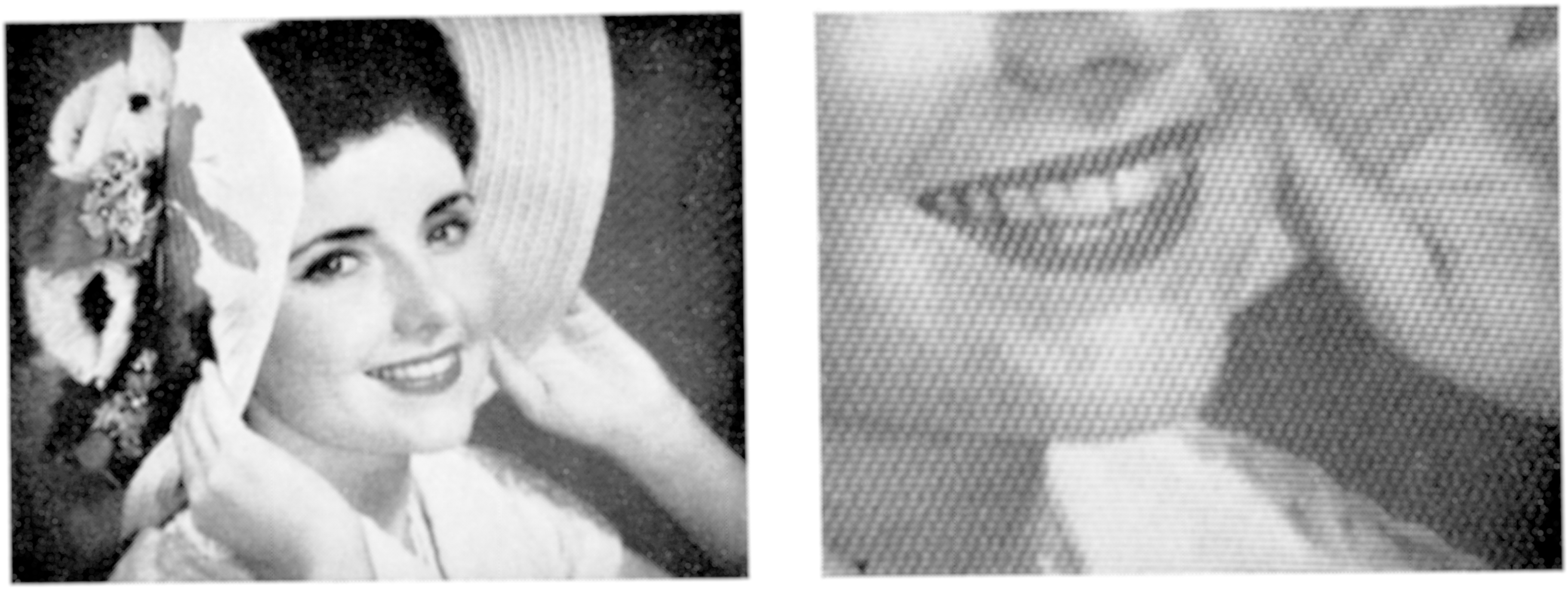


Bild 5. Links: Schwarzweiß-Wiedergabe eines NTSC-Farbbildsignals. Rechts: Ausschnitt der Wiedergabe mit Störmoiré durch Farbträger

Die Gleichung für das vollständige, aus Helligkeitssignal und geträgertem Farbartsignal zusammengesetzte NTSC-Übertragungssignal lautet:

$$M = Y + Q \sin(\omega_F t + 33^\circ) + J \cos(\omega_F t + 33^\circ) \quad (7)$$

$$M = Y + F \sin(\omega_F t + \varphi) \quad (8)$$

$$\text{mit } F = \sqrt{J^2 + Q^2} \text{ und } \varphi = \operatorname{arctg} J/Q\,,$$

wobei ω_F die Kreisfrequenz des Farbträgers in der Phasenlage der positiven U-Achse darstellt. Die Bandbreiten der beiden Komponenten des geträgerten Farbartsignals sind verschieden. Für die Q-Komponente genügt es, beide Seitenbänder mit je 0,57 MHz Bandbreite zu übertragen, die J-Komponente muß dagegen im unteren Seitenband, um eine befriedigende Bildschärfe zu gewährleisten, mit etwa 1,3 MHz Bandbreite gesendet werden. Das obere Seitenband ist, wie beim Q-Signal, durch die vorgegebene Bandbreite im Übertragungskanal auf 0,57 MHz begrenzt (Bild 6). Die Bandbreiten- und Farbträger-Dimensionierung sind auf ein hypothetisches, der europäischen 625-Zeilen-Norm mit 5 MHz Videobandbreite angepaßtes System bezogen. Die praktizierte amerikanische Version weist mit 3,6 MHz Farbträgerfrequenz und 4,2 MHz nomineller Videobandbreite abweichende Werte auf.

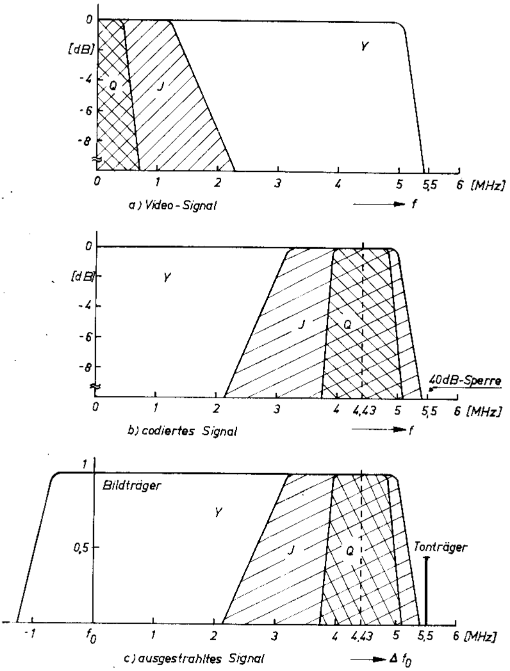
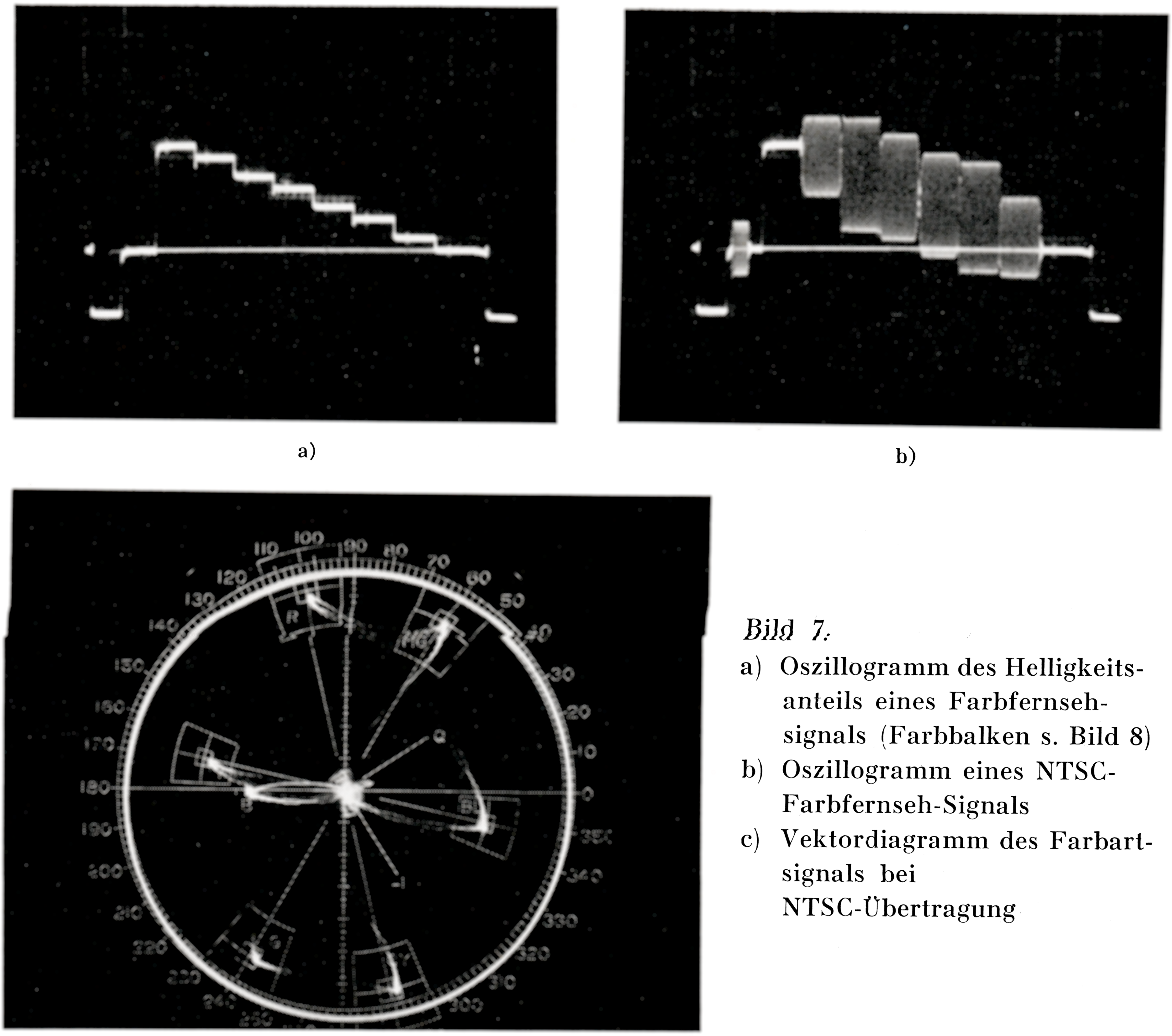


Bild 6. Bandbreiten der Y, J- und Q-Signale bei NTSC für ein 625-Zeilen-System mit 5,5 MHz Bild/Tonabstand [9]

Die unterschiedliche Dimensionierung der Bandbreiten ist für das NTSC-System erforderlich, weil die Rückgewinnung der Farbdifferenzsignale im Empfänger sonst zu Übersprechstörungen zwischen den beiden Farbartkomponenten führt.

Die Dekodierung mit Hilfe von Synchrondemodulatoren erfordert im Empfänger einen Oszillator, der synchron und konphas mit dem unmodulierten Farbträger auf der Senderseite schwingt. Im vollständigen Übertragungssignal muß daher ein Signal zur Frequenz- und Phasensynchronisation dieses Oszillators vorgesehen werden. Es besteht in einem Schwingungszug von 10 Perioden des Farbträgers, dessen Phase in Richtung der negativen U-Achse jeder Zeile auf der hinteren Schwarzschulter der Horizontaltastlücke eingeblendet wird.

Die Bilder 7 a bis 7 c zeigen Oszillogramme eines Farbbalkenmusters, in dem vertikale Streifen der Primär- und Mischfarben in der Reihenfolge ihres Helligkeitsanteils angeordnet sind (Bild 8). Das in Bild 7 a dargestellte Signal enthält nur die Helligkeitskomponente. Es liefert in der Wiedergabe ein schwarzweißes Bild. Das Oszillogramm 7 b zeigt den überlagerten Farbträger mit dem Farbsynchronsignal auf der hinteren Schwarzschulter. In Bild 7 c ist das Farbartsignal allein in einer vektoriellen Darstellung oszillographiert. Phasenlage und Amplituden des Farbartsignals für die 6 übertragenen Farben



a)

b)

c)

Bild 7.

a) Oszillogramm des Helligkeitsanteils eines Farbfernsehsignals (Farbbalken s. Bild 8)

b) Oszillogramm eines NTSC-Farbfernseh-Signals

c) Vektordiagramm des Farbartsignals bei NTSC-Übertragung

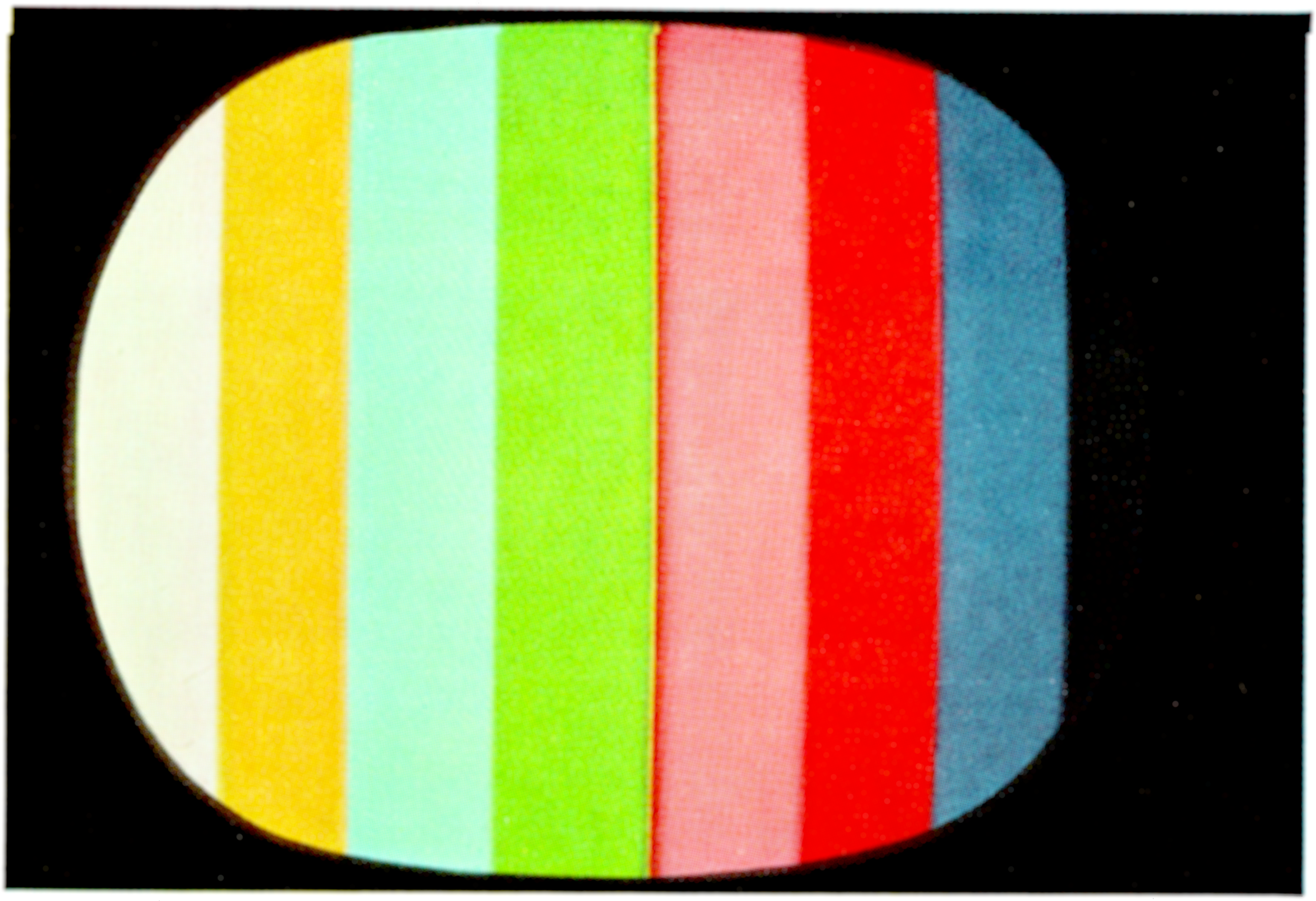


Bild 8. Wiedergabe eines Farbbalken-Testsignals auf der Farbfernsehröhre

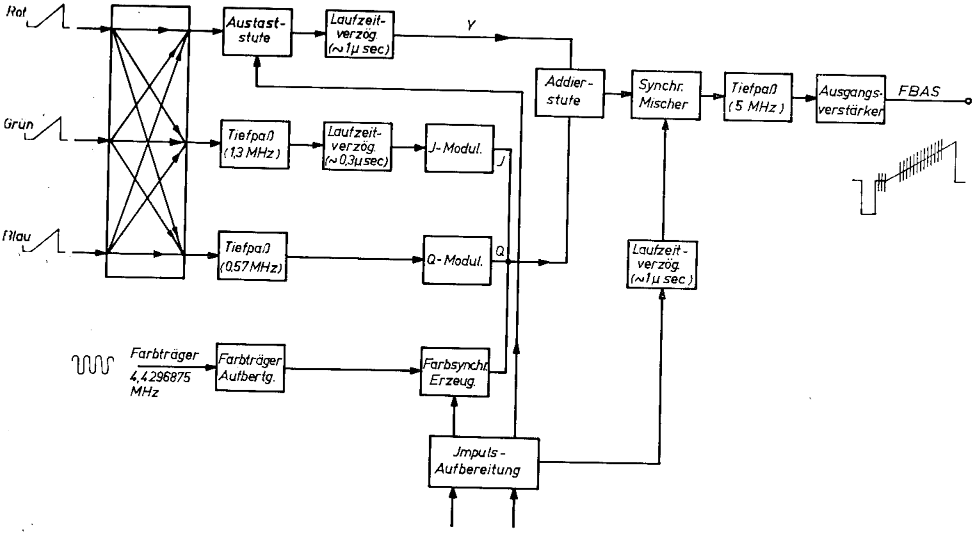

Rot
Grün
Blau
Austast-stufe
Laufzeit-verzög. (~1µ sec)
Y
Addier-stufe
Synchr. Mischer
Tiefpaß (5 MHz)
Ausgangs-verstärker
FBAS
Tiefpaß (1,3 MHz)
Laufzeit-verzög. (~0,3µsec)
J-Modul.
J
Tiefpaß (0,57MHz)
Q-Modul.
Q
Laufzeit-verzög. (~1µ sec)
Farbträger 4,4296875 MHz
Farbträger Aufbertg.
Farbsynchr. Erzeug.
Jmpuls-Aufbereitung

Bild 9. Blockschaltbild eines NTSC-Koders

und das Farbsynchronsignal (bei B) sind in diesem Oszillogramm besonders deutlich zu erkennen.

Das Blockschaltbild eines NTSC-Modulators ist in Bild 9 wiedergegeben. In einer Matrix-Schaltung werden die vom Bildgenerator gelieferten Farbwertsignale R, G, B in die Übertragungssignale Y, J, Q umgeformt. Das Y-Signal wird mit Hilfe einer Laufzeitleitung um etwa 1 µsec verzögert, um die Koinzidenz mit den Signalkomponenten J und Q, die durch Tiefpässe in ihrer Bandbreite begrenzt werden, aufrecht zu halten. Auch die J-Komponente muß um etwa 0,3 µsec verzögert werden, da die Bandbegrenzung der Q-Komponente mit 0,57 MHz enger ist und daher eine größere Gruppenlaufzeitverzögerung verursacht als die des auf etwa 1,3 MHz begrenzten J-Signals. Nach der Trägerung in den Modulationsstufen wird das Farbartsignal gemeinsam mit dem in einem weiteren Modulator gewonnenen Farbsynchronsignal dem Y-Signal zugesetzt. Das Farbbildsignal wird dann schließlich durch Eintastung der Synchronsignale zum endgültigen Farbbildsignalgemisch vervollständigt.

3. Dekodierung des Farbartsignals

Die Dekodierung der Übertragungssignale auf der Empfangsseite wird durch Bild 10 veranschaulicht. Nach Vorverstärkung und Abtrennung des Synchronanteils wird das Farbbildsignal einer Frequenzweiche zugeführt, in der die Farbträgerkomponenten abgezweigt und zwei Synchrondemodulatoren zugeführt werden. Nach Durchlauf einer 1 µsec-Verzögerungsleitung und einer Sperre, in der der Farbträger unterdrückt wird, speist das verbleibende Helligkeitssignal Y die Dematrix. In den Synchrondemodulatoren werden durch multiplikative Mischung mit einem örtlich erzeugten Farbträger die Farbdifferenz-

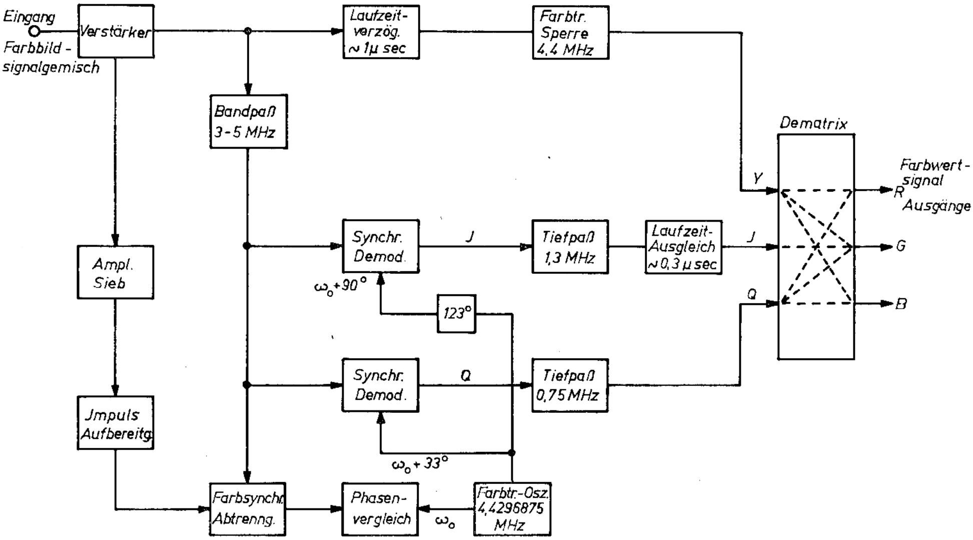

Eingang
Farbbild-signalgemisch
Verstärker
Laufzeit-verzög. ~1µ sec
Farbtr. Sperre 4,4 MHz
Bandpaß 3-5 MHz
Dematrix
Farbwert-signal
Ausgänge
Y
R
J
G
Q
B
Synchr. Demod.
Tiefpaß 1,3 MHz
Laufzeit-Ausgleich ~0,3 µsec
Ampl. Sieb
ω0+90°
123°
Synchr. Demod.
Tiefpaß 0,75 MHz
Jmpuls Aufbereitg.
ω0+33°
Farbsynchr. Abtrenng.
Phasen-vergleich
ω0
Farbtr.-Osz. 4,4296875 MHz

Bild 10. Blockschaltbild eines NTSC-Dekoders

signale J und Q zurückgewonnen, die durch lineare Kombination mit dem Y-Signal in der Dematrix wieder die gewünschten Farbwertsignale R, G, B liefern. Die Dematrizierung unterliegt dem aus Gl. (1) und (6) durch Umformung abzuleitenden Gleichungssystem:

(9)
$$\begin{aligned} R &= Y + 0{,}95\,J + 0{,}62\,Q \\ G &= Y - 0{,}27\,J - 0{,}65\,Q \\ B &= Y - 1{,}10\,J + 1{,}70\,Q\,. \end{aligned}$$

Die Synchrondemodulatoren arbeiten in ähnlicher Weise wie die bei der Kodierung auf der Senderseite verwendeten Gegentakt-Modulatoren. Im J-Demodulator wird die Phase des überlagerten Trägers so gewählt, daß sie mit der Phasenlage des unmodulierten J-Trägers im Sender übereinstimmt. Am Demodulatorausgang entsteht dann die Spannung

(10)
$$\begin{aligned} S_J &= \{\, Q \cdot \cos(\omega_F \cdot t) + J \sin(\omega_F \cdot t) \,\} \sin(\omega_F t) = \\ &= Q \cdot \cos(\omega_F \cdot t) \cdot \sin(\omega_F \cdot t) + J \sin^2(\omega_F \cdot t) = \\ &= Q/2 \sin(2\,\omega_F \cdot t) + J/2 \cdot [1 - \cos(2\,\omega_F \cdot t)]\,. \end{aligned}$$

Nach Absiebung des hochfrequenten Anteils wird:

(10 a)
$$S_J \rightarrow J/2\,.$$

Analog entsteht im Q-Demodulator durch Überlagerung mit $\cos(\omega_F \cdot t)$ und Absiebung der Oberwelle

(10 b)
$$\begin{aligned} S_Q &= \{\, Q \cdot \cos(\omega_F \cdot t) + J \sin(\omega_F t) \,\} \cdot \cos(\omega_F \cdot t) \\ S_Q &\rightarrow Q/2\,. \end{aligned}$$

Im Bereich von 0 bis 0,5 MHz werden beide Trägerkomponenten in Zweiseitenbandmodulation übertragen (Bild 11). Die Phasenlage der resultierenden Zeiger ist eindeutig festgelegt. Wegen der oberen Grenze

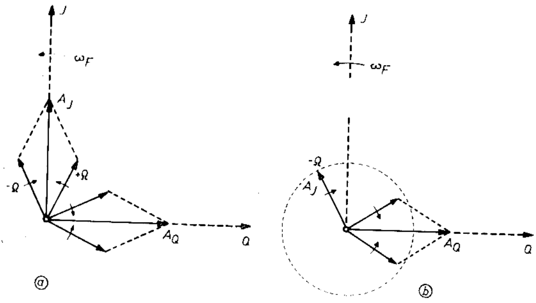


Bild 11. Vektordiagramme der Zweiphasenmodulation mit Trägerunterdrückung
a) beide Modulationen in Zweiseitenband-Übertragung
b) eine Modulation in Einseitenband-Übertragung [22]

A_J = resultierende Amplitude der J-Komponente
A_Q = resultierende Amplitude der Q-Komponente
ω_F = Farbträgerfrequenz
Ω = Modulationsfrequenz der Farbdifferenzsignale

des Übertragungsbandes kann aber von 0,5 MHz an nur noch ein Seitenband der J-Komponente übertragen werden, das mit der Modulationsfrequenz gegenüber den Demodulationsachsen rotiert. Es treten daher auch im Q-Demodulator Signalkomponenten aus dem J-Signal auf, die durch einen Tiefpaß von 0,5 MHz Bandbreite abgesiebt werden müssen. Der Tiefpaß im J-Kanal verhindert einerseits das Übersprechen von Komponenten des Helligkeitssignals außerhalb des Chrominanzbereichs und gleicht andererseits den Dämpfungsverlust von 6 dB im Bereich der Einseitenbandübertragung aus (Bild 12).

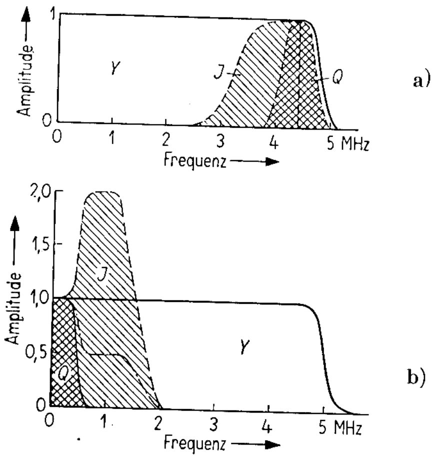


Bild 12.
a) Übertragungsbandbreiten im Modulator
b) Übertragungsbandbreiten im Demodulator [21]

Die phasenstarre Regenerierung des Farbträgers im Empfänger erfolgt mit Hilfe eines Phasendiskriminators, der Phase und Frequenz des Farbsynchronsignals im Übertragungssignal mit einer Schwingung vergleicht, die in einem Quarzoszillator des Empfängers erzeugt wird. Die hierbei gewonnene Regelspannung wird über eine Reaktanzstufe zur Nachstimmung des örtlichen Oszillators verwendet (Bild 13).

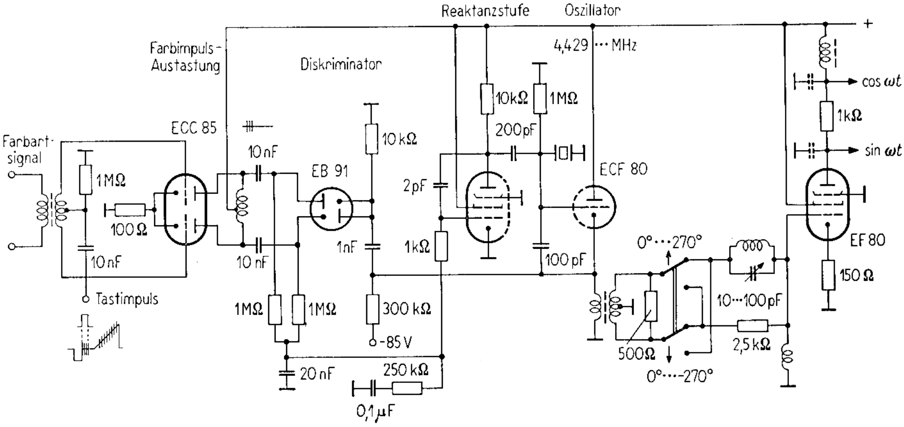

Reaktanzstufe
Oszillator
+
4,429 ··· MHz
Farbimpuls-Austastung
Diskriminator
Farbart-signal
ECC 85
1 MΩ
100 Ω
10 nF
Tastimpuls
10 nF
10 nF
EB 91
10 kΩ
1 nF
1 MΩ
1 MΩ
300 kΩ
-85 V
20 nF
250 kΩ
0,1 µF
2 pF
1 kΩ
10 kΩ
1 MΩ
200 pF
100 pF
ECF 80
0°···270°
500 Ω
0°···270°
10···100 pF
2,5 kΩ
cos ωt
1 kΩ
sin ωt
EF 80
150 Ω

Bild 13.
Schaltung zur automatischen Phasenregelung des Farbträgeroszillators mit Quarz [21]

4. Eigenschaften und Grenzen des NTSC-Verfahrens

Das NTSC-System brachte in seiner Grundkonzeption einen so entscheidenden Fortschritt in der Entwicklung des Farbfernsehens, daß auch heute — 13 Jahre nach seiner Einführung in Amerika — keine grundsätzlichen Verbesserungen erforderlich sind. So ist das Prinzip einer der Auflösungsfähigkeit des Auges adäquaten Übertragung des Helligkeits- und Farbartsignals im gleichen Kanal ebenso wie die Trägerung des Farbartsignals von allen später entwickelten Übertragungssystemen übernommen worden. Unterschiede gegenüber den modernen europäischen Systemen bestehen lediglich in der Art der Farbträgermodulation, so daß eigentlich nur von Modifikationen des NTSC-Systems gesprochen werden sollte.

Ausgangspunkt dieser Weiterentwicklungen war die Tatsache, daß das NTSC-System zwar bei idealen, d. h. verzerrungsfreien Übertragungsbedingungen, beste Bildqualität liefert, daß aber bei bestimmten Fehlern in der Übertragungskette Verfälschungen der Farbwiedergabe auftreten können, die durch Schaltungsmaßnahmen im Empfänger grundsätzlich nicht zu beseitigen sind. Solche Fehler können verursacht sein durch Unvollkommenheiten der Übertragungseinrichtungen, aber auch durch physikalische Gegebenheiten des Übertragungsweges. Soweit Unzulänglichkeiten der Geräte Ursache der Übertragungsfehler sind, können technische Verbesserungen Abhilfe schaffen. Dagegen sind physikalische Grenzen (Verhalten des Systems gegenüber Mehrwegeempfang im bebauten Gelände und in gebirgigen Empfangslagen, Rauschstörungen in den Randzonen des Empfangsbereiches usw.) nicht beeinflußbar. Es ist deshalb erforderlich, ein Übertragungsverfahren zu wählen, das von solchen Einflüssen möglichst unabhängig ist. Das NTSC-System ist für Übertragungsverzerrungen beider Arten empfindlich.

Bei pegelabhängigen Phasendrehungen (differentiellen Phasenfehlern), die im Übertragungsweg vor allem bei Richtfunkstrecken und

Sendern auftreten, können im Phasenbezug zwischen Farbartsignal und Farbsynchronsignal Abweichungen auftreten. Hierdurch werden bei der Wiedergabe Änderungen des Farbtons hervorgerufen, für die das Auge sehr empfindlich ist. Die zulässige Grenze der Phasenabweichung des Farbartsignals von seinem Sollwert liegt für die gesamte Übertragung bei nur 20°.

In ähnlicher Weise verursachen pegelabhängige Verstärkungsfehler (differentielle Verstärkungsfehler) des Farbträgers Änderungen in der Farbsättigung, für die das Auge allerdings weniger empfindlich ist als für Abweichungen im Farbton. Abweichungen vom Sollwert sind hierbei bis 40 % zugelassen.

Ein Beispiel für die unbeeinflußbare Verschlechterung der Übertragungsqualität durch physikalische Gegebenheiten des Übertragungsweges bietet die Verfälschung des Farbtons im NTSC-Bild beim Mehrwegeempfang. Weisen die reflektierten Empfangskomponenten gegenüber dem direkt empfangenen Signal Verzögerungen von mehr als 7 μsec auf, so überlagern sie das Farbsynchronsignal und verfälschen damit seine Phasenlage. Die Synchronmodulation wird dann mit einem aus seiner Sollage abweichenden Farbträger vorgenommen, d. h., die Demodulation erfolgt nicht mehr nach den gewünschten Achsen von J und Q, sondern nach einem dazu gedrehten Achsenpaar. Die Wiedergabe der Farben wird fehlerhaft.

C. Das SECAM-System

1. Arbeitsweise

Die europäischen Bemühungen um eine Verbesserung des NTSC-Systems konzentrierten sich im wesentlichen darauf, eine Modulationsart für die Farbinformation zu finden, die gegen Übertragungsverzerrungen der genannten Art unempfindlicher ist.

Das französische SECAM [2])-Verfahren, das außer in Frankreich auch in Ländern des Ostblocks eingeführt wird, verwendet zur Kodierung der Farbinformation die Frequenzmodulation, die gegen lineare und nichtlineare Verzerrungen weitgehend unempfindlich ist. Im Gegensatz zur Quadraturmodulation kann jedoch bei Frequenzmodulation nur eine Information geträgert werden. Um beide Farbdifferenzsignale auf einem Träger übertragen zu können, muß ein Kunstgriff angewendet werden. Er besteht darin, die beiden Farbdifferenzsignale U und V zeilenweise abwechselnd aufzumodulieren. Die jeweils fehlende Farbkomponente wird im Empfänger ersetzt durch die Information der zeitlich vorhergehenden Zeile, die mit Hilfe einer 64 μsec-Verzögerungsleitung gespeichert wird. Diese Verzögerungsleitung besteht aus einem Glasstab, den das Signal nach Umformung in piezo-elektrischen Wandlern als mechanische Schwingung durchläuft (Bild 14).

Den grundsätzlichen Aufbau eines SECAM-Koders zeigt Bild 15. Die Matrizierung formt aus den Farbwertsignalen R, G, B die Übertragungssignale Y, U und V. Eine Kodierung nach dem J/Q-Achsensystem, wie beim NTSC-Verfahren, ist nicht notwendig, da ein Über-

---

2) *Sequentielle couleur à mémoire*

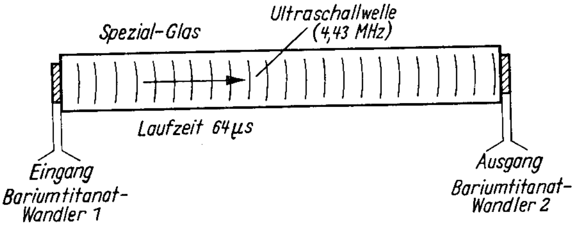

Spezial-Glas
Ultraschallwelle (4,43 MHz)
Laufzeit 64 µs
Eingang Bariumtitanat-Wandler 1
Ausgang Bariumtitanat-Wandler 2

Bild 14. Ultraschall-Laufzeitleitung [9]

sprechen zwischen den sequentiell übertragenen Farbdifferenzsignalen nicht auftreten kann und daher keine unterschiedliche Bandbegrenzung beider Signale erforderlich ist. Ein elektronischer Umschalter führt die Farbdifferenzsignale zeilenweise abwechselnd über einen Tiefpaß (1,4 MHz Durchlaßbreite) dem Frequenzmodulator zu. Anschließend wird das geträgerte Signal zu dem verzögerten Helligkeitssignal addiert. Zur Synchronisation der elektronischen Umschalter im Sender und Empfänger enthält das Übertragungssignal in der Bildlücke Kennimpulse, deren Erzeugung in diesem prinzipiellen Aufbauschema der Übersichtlichkeit wegen nicht dargestellt ist.

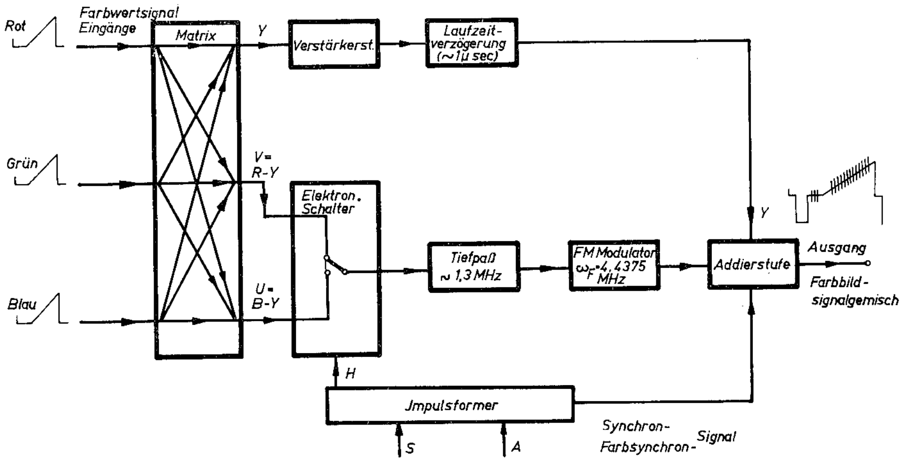

Farbwertsignal Eingänge
Rot
Grün
Blau
Matrix
Y
V= R-Y
U= B-Y
Verstärkerst.
Laufzeitverzögerung (~1µ sec)
Elektron. Schalter
Tiefpaß ~1,3 MHz
FM Modulator ω_F ~4,4375 MHz
Addierstufe
Y
Ausgang
Farbbildsignalgemisch
H
Jmpulsformer
S
A
Synchron- Farbsynchron- Signal

Bild 15. Blockschaltbild eines SECAM-Koders

Die grundsätzliche Arbeitsweise eines SECAM-Dekoders veranschaulicht Bild 16. Das ankommende Übertragungssignal wird wie im NTSC-Dekoder in Luminanz und Chrominanzanteile zerlegt. Die Farbdifferenzsignale werden in einem Diskriminator zurückgewonnen und einerseits direkt, andererseits über eine Laufzeitleitung mit einer Verzögerung von einer Zeilendauer einem Doppel-Elektronenschalter zugeführt. Am Ausgang dieses Schalters sind daher immer beide Farbdifferenzsignale verfügbar. Eine einfache Matrizierung liefert nach der Gleichung

(11) $$G - Y = -0{,}19\,U - 0{,}51\,V$$

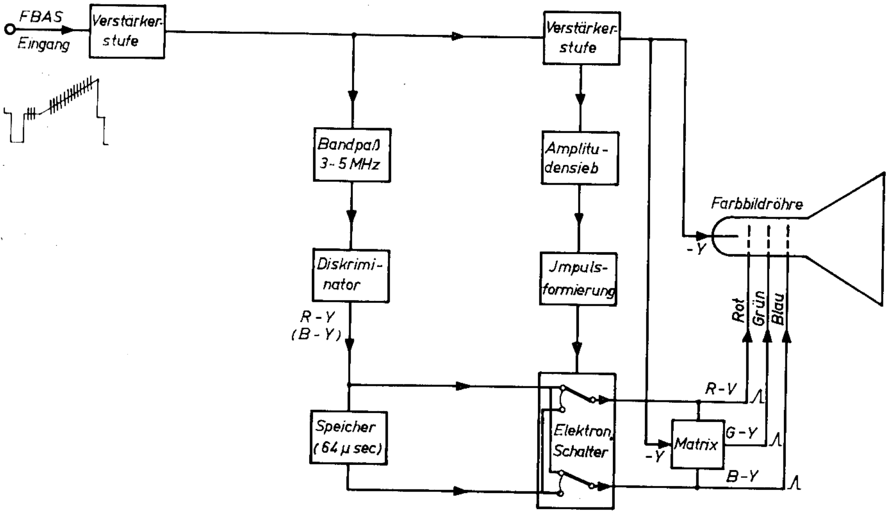


Bild 16. Blockschaltbild eines SECAM-Dekoders

das dritte Farbdifferenzsignal für Grün. Mit dem breitbandigen Y-Signal wird die Kathode der Farbröhre negativ angesteuert. Die drei Farbdifferenzsignale liegen an den Wehneltzylindern der Röhre, so daß als Steuerspannung an den drei Strahlerzeugungs-Systemen die Farbwertsignale R, G, B wirksam werden.

2. Eigenschaften

In dieser prinzipiellen Darstellung scheint sich das SECAM-Verfahren als unkompliziert und robust auszuweisen. Tatsächlich sind Übertragungsverzerrungen, die beim NTSC-System die Bildqualität wesentlich verschlechtern oder sogar unbrauchbar machen, für SECAM ohne bemerkbaren Einfluß. Dafür müssen allerdings andere schwerwiegende Nachteile in Kauf genommen werden, die zu Modifikationen dieses einfachen Übertragungsprinzips zwingen. Der Verlust in der vertikalen Farbauflösung, der aus der zeilensequentiellen Übertragung von jeweils nur einer Hälfte der Farbinformation resultiert, mag dabei noch als unbedeutend angesehen werden, zumal auch beim NTSC-Verfahren durch die Bandbegrenzung der Farbdifferenzsignale ein solcher Auflösungsverlust in horizontaler Richtung zugelassen wird. Entscheidend ist vielmehr, daß in jedem System, das Helligkeits- und Farbartsignal im gleichen Kanal überträgt, die Qualitätsverminderung des Bildes durch die Trägerstörung in Beziehung zur Bildverschlechterung durch statistische Störungen im Chrominanzkanal steht. Im NTSC-Bild ist die Störwirkung durch Rauschen wie im Schwarzweißbild unmittelbar dem Nutz-Störverhältnis proportional. Allerdings werden Störkomponenten im Chrominanzbereich durch die Synchrondemodulatoren in tiefe Frequenzlagen umgesetzt und verursachen daher in der Bildwiedergabe ein Störmuster mit gröberer Struktur als in einer Schwarzweiß-Übertragung. Der Störabstand für statistische Störungen wird verbessert, wenn die Amplituden des Farbträgers relativ zum Helligkeitssignal angehoben werden, jedoch tritt dann auch im gleichen Maße das Trägerraster, vor allem in der kompatiblen Wiedergabe, stärker hervor.

Der frequenzmodulierte Träger des SECAM-Signals erzeugt demgegenüber von vornherein ein auffälligeres Moiré, das zudem im Gegensatz zum NTSC-Bild auch in unbunten Bildteilen enthalten ist. Der Träger muß also mit relativ kleiner Amplitude übertragen werden, um ausreichende Kompatibilitätseigenschaften zu sichern. Solange nun die Störamplituden im Chrominanzbereich kleiner bleiben als die des Nutzsignals, werden sie durch den Begrenzer des Diskriminators unterdrückt. Eine Rauschstörung des Bildes erfolgt nur über den Helligkeitskanal und ist daher von gleicher Struktur und Wirkung wie bei einer Schwarzweiß-Übertragung. Anders ist es, wenn dieser Schwellwert überschritten wird. Das Nutzsignal wird dann durch den Störer unterdrückt und im Farbbild treten charakteristische, lange Zeilenstreifen („Silberfische") auf, die mit wachsender Störamplitude rasch zur völligen Unbrauchbarkeit des Bildes führen. Dieser Effekt wird nicht nur von statistischen Störern hervorgerufen, sondern ebenso von den hochfrequenten Komponenten des Helligkeitssignals, wie sie bei starken Änderungen des Y-Signals an vertikalen Kanten und Strukturen des Bildes auftreten. Das SECAM-Verfahren versucht diesen Schwierigkeiten durch Anwendung eines Systems von video- und trägerfrequenten Preemphasen bei der Frequenzmodulation zu begegnen. Die videofrequente Preemphase ergibt eine Anhebung der hohen Frequenzen in den Farbdifferenz-Signalen. Sie verbessert zwar den Störabstand der Farbträger-Seitenbänder, läßt aber gleichzeitig die Moiréstörung durch den Träger an vertikalen Farbkanten stärker hervortreten. Die trägerfrequente Preemphase wird erreicht durch einen umgekehrt glockenförmigen Amplitudengang der Trägerverstärkung symmetrisch zur Farbträgerfrequenz. Für den mittleren Teil des Trägerfrequenzbereiches ergibt sich damit eine niedrigere Verstärkung als für die Bandgrenzen. Hierdurch wird, ähnlich wie beim NTSC-Verfahren, für unbunte Bildteile der Träger zwar nicht unterdrückt, aber in seiner Amplitude abgesenkt, während gesättigte Farben, denen ein hoher Frequenzhub entspricht, mit verhältnismäßig großen Trägeramplituden übertragen werden. Zusätzlich wird noch durch eine automatische Amplitudenregelung des Trägers in Abhängigkeit von dem hochfrequenten Frequenzanteil des Luminanzbereiches bewirkt, daß bei Helligkeitssprüngen die Trägeramplitude vergrößert wird.

Mit diesem umfangreichen System von wohlabgewogenen und genau einzuhaltenden Korrekturen und Steuerungen am Amplitudengang des Trägers gelingt es, innerhalb eines bestimmten Bereiches des Nutz/Störsignal-Verhältnisses das System in bezug auf Kompatibilitäts- und Störabstandseigenschaften vergleichbar mit dem NTSC-System zu machen. Es zeigt aber auch deutlich, daß sich das SECAM-Verfahren hiermit an der Grenze seiner Entwicklungsmöglichkeit befindet, die vom Hersteller ein Höchstmaß an Präzision und Stabilität in Konstruktion und Abgleich der Geräte fordert. Hierauf deutet auch die Tatsache, daß im Laufe der SECAM-Entwicklung immer wieder neue Varianten des Systems geschaffen wurden, die voneinander im wesentlichen nur durch abweichende Dimensionierungen der Frequenzgänge im Farbkanal unterschieden waren und die schließlich zu der Version mit dem bezeichnenden Namen SECAM-Optimal führten.

D. Das PAL-System

Das SECAM-Verfahren sucht durch Frequenzmodulation des Trägers ein gegen Übertragungsverzerrungen unempfindliches System zu schaffen und bedient sich dazu einer sequentiellen Übertragungstechnik, die durch die Entwicklung einer Verzögerungsleitung genügender Laufzeit und Bandbreite möglich wurde. Den Vorteilen der Unempfindlichkeit gegenüber Signalverzerrungen stehen aber Nachteile im Verhalten gegen Übersprech- und statistischen Störungen gegenüber.

Das in Deutschland entwickelte PAL [3])-Verfahren stellt nun eine Kombination der Elemente des NTSC- und SECAM-Systems dar, mit der es die Vorteile der beiden Systeme vereinigt, ihre Nachteile aber vermeidet. Vom NTSC-System übernimmt es die Quadratur-Modulation, die schon durch die Äquivalenz der farbmetrischen elektrischen Entsprechungen und Zuordnungen überzeugender ist als die Frequenzmodulation des SECAM-Verfahrens. Das SECAM-System liefert die Technik der zeilensequentiellen Übertragung, mit deren Hilfe Signalverzerrungen in einer Zeile durch entgegengesetzt gleiche Verzerrung in der zeitlich folgenden Zeile kompensiert werden. Damit zeigt das PAL-, mehr noch als das SECAM-Verfahren, den Charakter eines modifizierten NTSC-Systems.

1. Arbeitsweise und Eigenschaften

Die Arbeitsweise des PAL-Systems sei anhand der Vektordarstellung in Bild 17 erläutert. Der Farbartzeiger Pu für Purpur, der identisch mit dem des NTSC-Signals ist, wird während aller ungeraden Zeilen übertragen. Er erfährt durch Phasenverzerrungen im Übertragungsweg eine Drehung um $\Delta\varphi$ nach Pu'. Während aller geraden Zeilen wird der Zeiger Pu durch Spiegelung an der U-Achse in seine konjugiert-komplexe Lage nach $\overline{\text{Pu}}$ geklappt und erleidet die gleiche Phasenverschiebung nach $\overline{\text{Pu}}'$. Diese Spiegelung wird praktisch durch eine Umschaltung der Polarität des V-Signals erreicht. Im Empfänger erfolgt eine abermalige Spiegelung an der U-Achse, die den Zeiger Pu'' liefert. Während Pu' um den Fehlwinkel $\Delta\varphi$ nach Rot abweicht, wird $\overline{\text{Pu}}'$ mit dem gleichen Fehlwinkel in Richtung Blau gedreht. Die Wiedergabe dieses Farbsignals auf dem Bildschirm zeigt also von Zeile zu Zeile wechselnd Farbwerte, die zwar vom Sollwert abweichen, deren Mittelwert aber genau dem Soll-Farbwert entspricht. Bei genügendem Abstand vom Bildschirm wird der Mittelwert durch das Auge gebildet. Innerhalb des Bereichs, in dem das Zäpfchensehen zwar schon die Zeilen verschmelzen läßt, das schärfere Stäbchensehen jedoch noch die Zeilen-

---

3) *phase alternation line.*

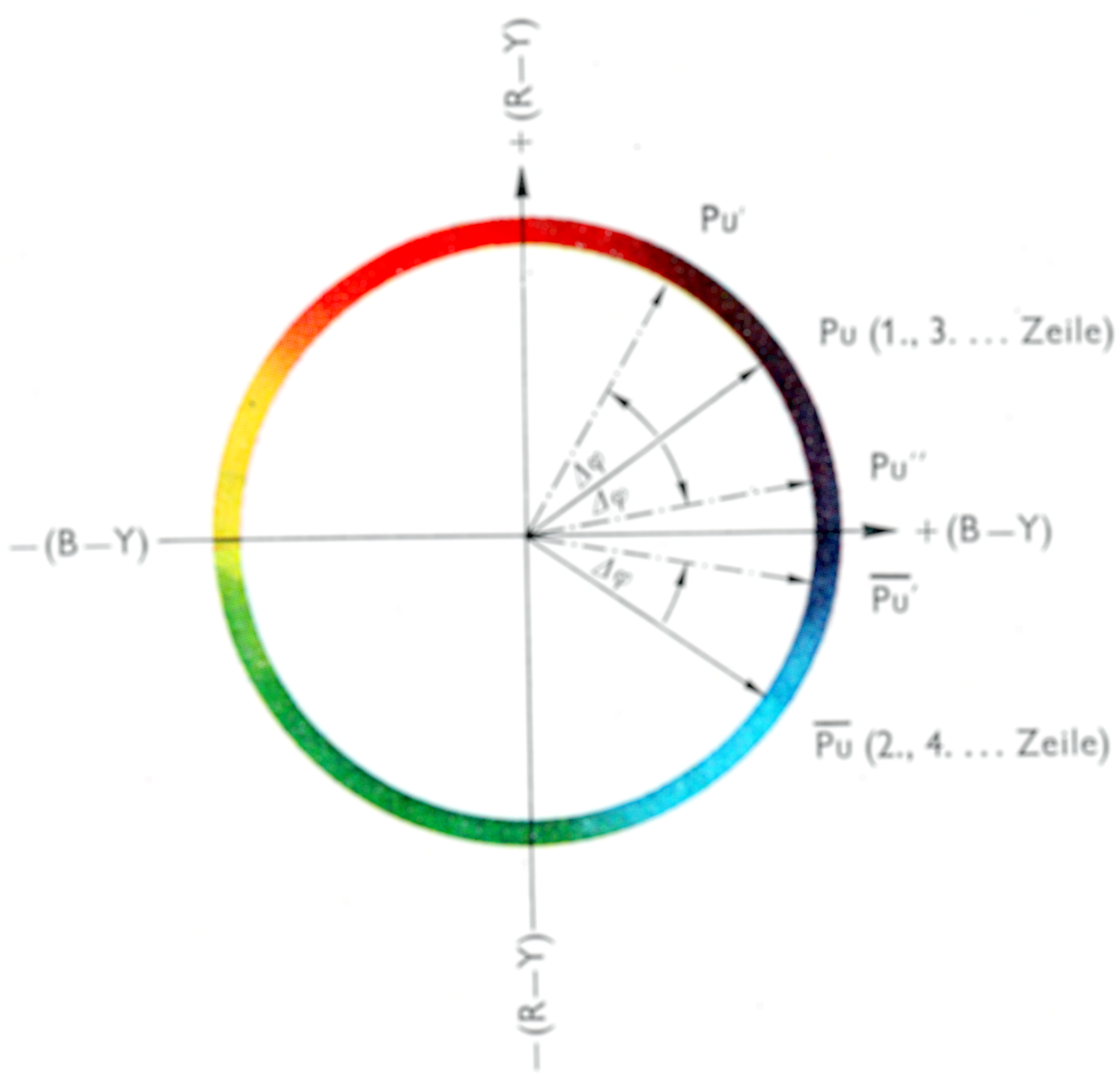


Bild 17. Zeigerdiagramm einer PAL-Übertragung bei Phasenverzerrungen im Übertragungsweg [22]

strukturen auflöst, besteht jedoch die Gefahr, daß Helligkeitsunterschiede der Zeilen wahrgenommen werden. Diese Zeilenstrukturen sind nicht weniger störend als die Farbabweichungen im NTSC-Bild, so daß für ein Wiedergabeverfahren dieser Art mit Hilfe des „Simpel-PAL-Empfängers“ keine größeren differentiellen Phasenfehler zulässig sind als beim NTSC-Verfahren (± 20°). Die entscheidenden Vorteile des PAL-Verfahrens können daher erst zur Geltung kommen, wenn man die Integration der beiden Farbzeiger auf elektrischem Wege vornimmt. Hierzu wird die Verzögerungsleitung des SECAM-Verfahrens benutzt, mit deren Hilfe jeweils zwei aufeinanderfolgende Zeilen gleichzeitig verfügbar sind und in einer einfachen Addition den gewünschten Mittelwert liefern. Allerdings wird die Amplitude des Mittelwertes mit dem Cosinus des Fehlwinkels verkürzt. Bei großen Phasenfehlern tritt hierdurch eine Entsättigung der Farbwiedergabe ein. Jedoch ist das Auge gegenüber Sättigungsänderungen einer Farbe weit weniger empfindlich als gegenüber Farbtonänderungen. Es stehen zudem Empfängerschaltungen zur Verfügung, mit denen auch dieser Cosinusfehler vermieden werden kann. Die mit dem „Standard-PAL-Empfänger“ zulässige Toleranz für den differentiellen Phasenfehler beträgt ± 50°, ein Wert, der auf heute üblichen Übertragungsketten einschließlich Sender kaum erreicht oder gar überschritten wird. Die elektrische Integration durch die Verwendung einer Verzögerungsleitung ergibt einen weiteren Vorteil des PAL-Verfahrens gegenüber allen anderen Systemen, weil das Farbartsignal hierdurch in ähnlicher Weise wie in einer Zweiseitenbandmodulation übertragen wird, selbst wenn das obere Seitenband im Übertragungskanal völlig unterdrückt wird. Diese „Pseudo“-Zweiseitenbandübertragung folgt aus dem zeilenweisen Umschalten des Farbzeigers aus der normalen in die konjugiert-komplexe Lage und zurück, bei der jeweils oberes und unteres Seitenband der V-Komponente im

Trägersignal vertauscht werden. Übersprecheffekte zwischen den beiden Komponenten des Farbartsignals, die beim NTSC-System zu unterschiedlicher Dimensionierung der Chrominanzbandbreiten zwingen, werden in der Summation aufeinanderfolgender Zeilen kompensiert. Damit entfällt auch die Notwendigkeit, von dem einfachen UV-Achsensystem auf das zumindest für den Empfänger kompliziertere JQ-System überzugehen.

Diese Eigenschaft des PAL-Verfahrens ist nicht nur aus Gründen der Frequenzband-Ökonomie vorteilhaft — sie ermöglicht den Ländern mit einer nominellen Videobandbreite des Schwarzweiß-Standards von 5 MHz 4) die gleiche Farbbildqualität und -stabilität wie Ländern mit größerer Videobandbreite —, sondern bietet auch erhöhte Sicherheit gegen lineare Verzerrungen des Übertragungsweges (Amplitudenabfall an der oberen Bandgrenze).

Wie beim SECAM-Verfahren muß auch bei der PAL-Übertragung eine Synchronisierung der Farbträger-Umschaltung in der Kodierung und Dekodierung erfolgen. Hierzu wird der Farbsynchronimpuls nicht wie bei NTSC in jeder Zeile mit der Phase der negativen U-Achse, sondern zeilenweise wechselnd um ± 45° gegen diese mittlere Phasenlage gedreht, übertragen (Bild 18). Bei der Demodulation liefert die V-Komponente dieses Signals einen Impuls wechselnder Polarität, der zur Steuerung des Elektronenschalters benutzt wird.

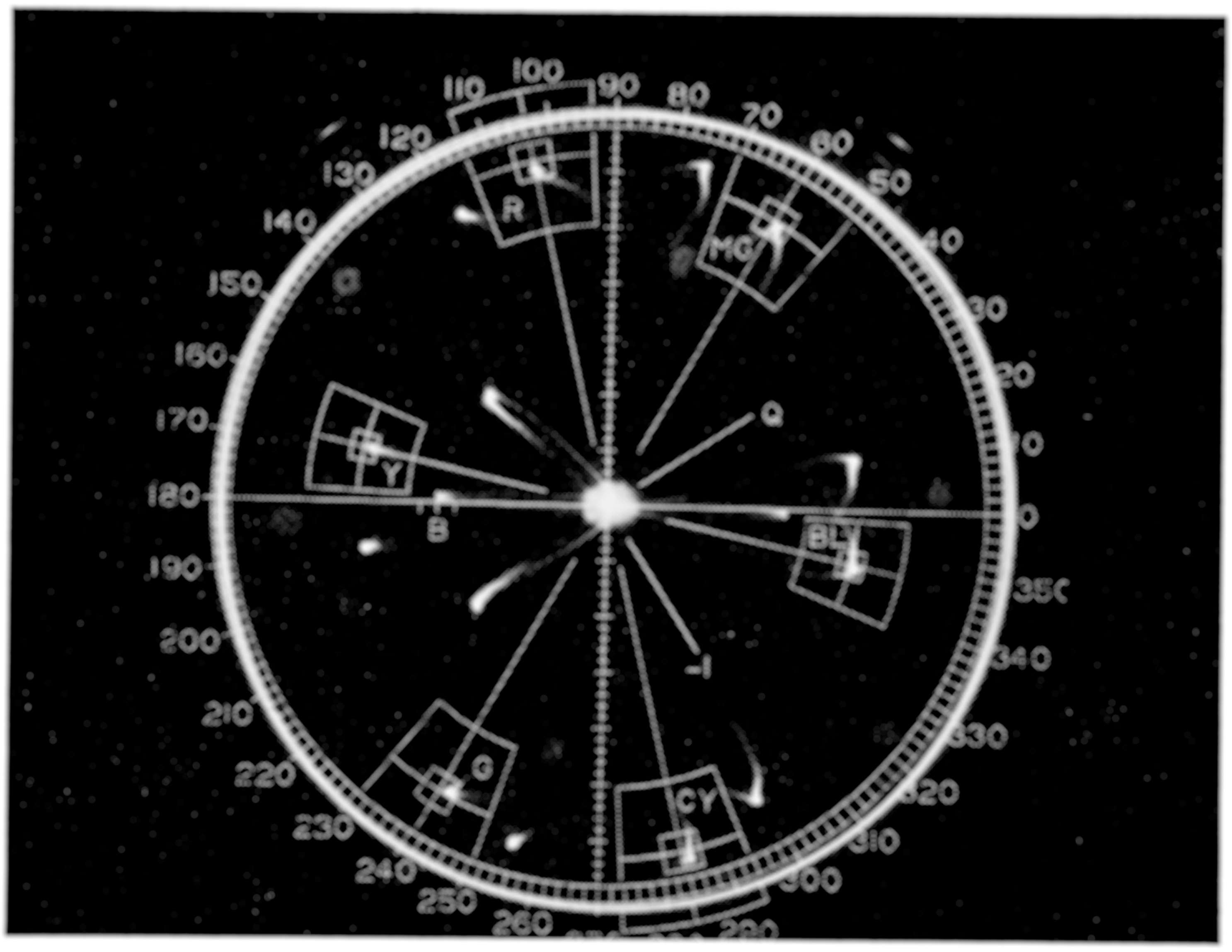


Bild 18. Vektordiagramme des Farbartsignals einer PAL-Übertragung (Farbbalken s. Bild 8). Der Farbsynchronimpuls ist um ± 45° gegen die negative U-Achse gedreht. Alle Farbwerte des NTSC-Diagrammes (Bild 7 c) erscheinen außerdem in ihrer konjugiert-komplexen Lage in bezug auf die U-Achse

Bei Verwendung des NTSC-Trägers weist das kompatible Schwarzweißbild in der PAL-Übertragung wegen der zeilensequentiellen Umschaltung der V-Komponente störende senkrechte Streifenstrukturen auf. Die Farbträgerfrequenz muß daher abweichend von der des NTSC-Verfahrens gewählt werden. Ein Optimalwert für diese Frequenz ergibt sich, wenn sie in ¼-Offset zur Zeilenfrequenz steht und außerdem um die Bildfrequenz versetzt wird:

---

4) Nach der sog. „Gerbernorm“ werden die skandinavischen Länder, die Benelux-Länder, Deutschland, Schweiz, Österreich und Italien versorgt.

$$f_F = (n - \tfrac{1}{4})\, f_H + \tfrac{1}{2}\, f_V$$

mit $n = 284$,
der Horizontalfrequenz $f_H = 15\,625$ Hz und
der Vertikalfrequenz $f_V = 50$ Hz
ergibt sich die Farbträgerfrequenz

$$f_F = 44\,33\,618{,}75 \text{ Hz}.$$

2. Koder- und Dekodertechnik

Die Bilder 19 und 20 zeigen Blockschaltbilder von PAL-Koder und -Dekoder. Der Aufbau des Modulators ist ähnlich wie beim NTSC-Verfahren. Unterschiede ergeben sich in der Matrizierung, bei der anstelle der Farbdifferenzsignale J und Q die Signale U und V gebildet werden, sowie bei der Zuführung der Trägerfrequenz für den V-Modulator, die zeilenweise um 180° geschaltet wird. Die Tiefpässe in den Chrominanzkanälen haben gleiche Durchlaßbreite (1,3 MHz). Ein Laufzeitausgleich zwischen beiden Kanälen entfällt daher.

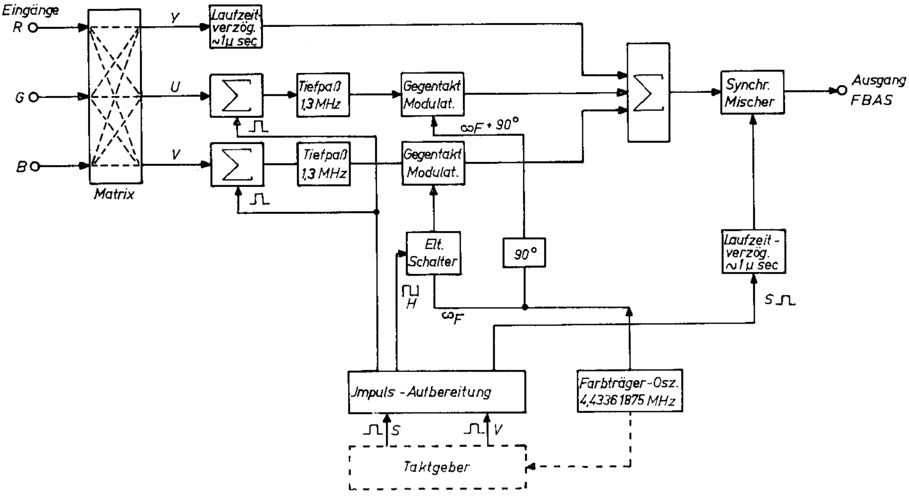

Eingänge
R
G
B
Matrix
Y
U
V
Laufzeit verzög. ~1µ sec
Σ
Σ
Σ
Tiefpaß 1,3 MHz
Tiefpaß 1,3 MHz
Gegentakt Modulat.
Gegentakt Modulat.
ωF + 90°
Elt. Schalter
90°
H
ωF
Synchr. Mischer
Ausgang FBAS
Laufzeit-verzög. ~1µ sec
S
Jmpuls-Aufbereitung
Farbträger-Osz. 4,43361875 MHz
S
V
Taktgeber

Bild 19. Blockschaltbild eines PAL-Koders

Auch in der Dekodierung besteht eine Reihe von Analogien zum NTSC-Demodulator. Ergänzend kommt in der Hauptsache die Verzögerungsleitung hinzu, in der das Farbartsignal um eine Zeilendauer (64 µsec) verzögert und anschließend zum unverzögerten Signal addiert bzw. davon subtrahiert wird. Die Addition liefert nach dem Vektordiagramm von Bild 21 die U-Komponente des Farbartsignals, die Subtraktion die V-Komponente (allerdings in zeilenweise wechselnder Polarität). Bei der anschließenden Synchrondemodulation beider Komponenten muß daher im V-Demodulator der zugeführte Träger ebenfalls zeilenfrequent um 180° gedreht werden, um die V-Komponente am Dematrixeingang immer in der richtigen Polarität verfügbar zu haben.

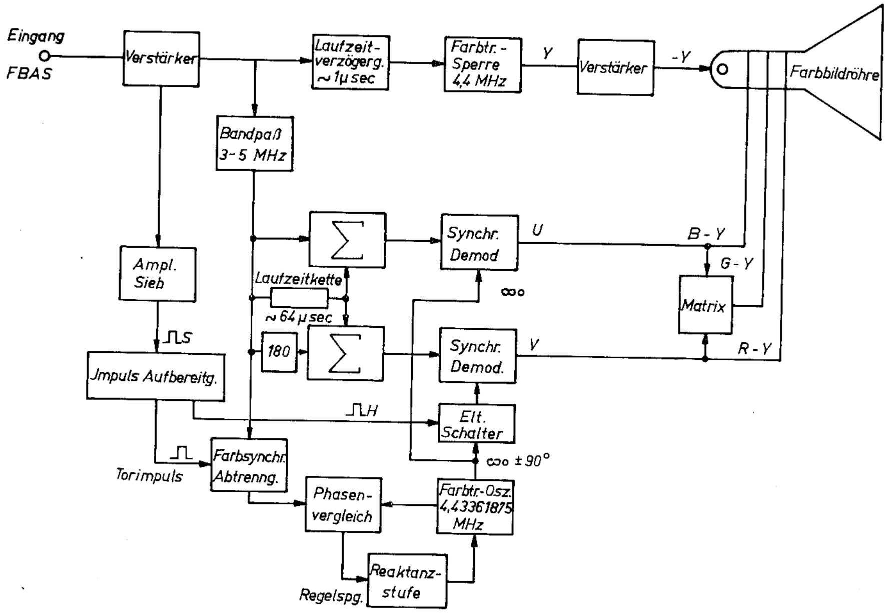

Eingang
FBAS
Verstärker
Laufzeit-verzögerg. ~1µsec
Farbtr.-Sperre 4,4 MHz
Y
Verstärker
-Y
Farbbildröhre
Bandpaß 3-5 MHz
Σ
Synchr. Demod
U
B-Y
G-Y
Matrix
Ampl. Sieb
Laufzeitkette
~64µsec
180
Σ
Synchr. Demod.
V
R-Y
S
Jmpuls Aufbereitg.
H
Elt. Schalter
±90°
Torimpuls
Farbsynchr. Abtrenng.
Phasen-vergleich
Farbtr-Osz. 4,43361875 MHz
Reaktanz-stufe
Regelspg.

Bild 20. Blockschaltbild eines PAL-Dekoders mit vereinfachter Dematrizierung

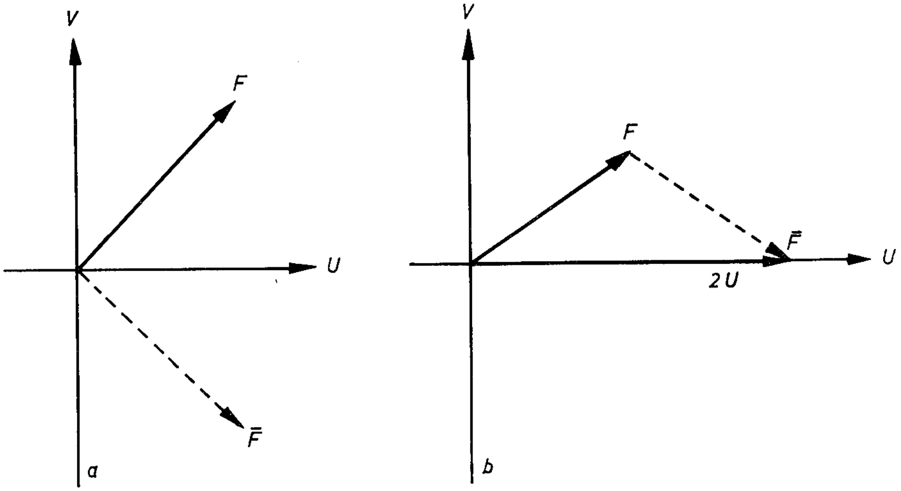
Die Dematrizierung kann in der gleichen vereinfachten Form wie im SECAM-Dekoder erfolgen, weil auch hier die U- und V-Signale unmittelbar zur Bildröhrensteuerung verwendet werden können.

III. Transkodierung

Die drei hier behandelten Farbfernseh-Systeme werden entweder schon seit einer Reihe von Jahren für die öffentliche Fernsehversorgung betrieben (NTSC-System in USA und Japan) oder sie werden in Kürze in verschiedenen Ländern eingeführt. Ein weltweiter oder auch intereuropäischer Programmaustausch, der mit der raschen Entwicklung der Satelliten-Übertragungstechnik immer mehr an Bedeutung gewinnt, erfordert Überlegungen, wie Programme des einen Systems in ein anderes übersetzt werden können.

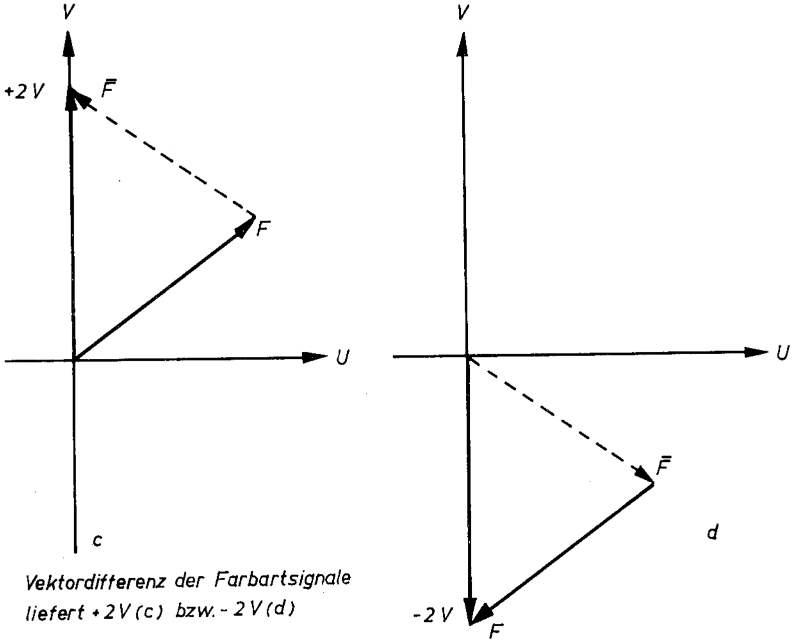
A. NTSC/PAL-Transkodierung

Im Falle einer Umsetzung von NTSC nach PAL und umgekehrt wäre eine solche Transkodierung verhältnismäßig einfach und ohne bemerkbaren Verlust an Bildqualität durchzuführen, da beide Systeme die gleiche Modulationsart des Farbträgers verwenden. Allerdings zwingt die von der europäischen 625-Zeilennorm abweichende Norm der USA (525-Zeilen/60 Hz), vor der Transkodierung eine Normwandlung einzuschalten, die heute jedoch mit elektronischen Normwandlersystemen einwandfrei zu beherrschen ist. Ein Beispiel für eine Transkodierung zwischen einem normgleichen NTSC- und PAL-System zeigt Bild 22. Das ankommende NTSC-Signalgemisch wird in seine Chrominanz- und



Farbsignal
in Normallage ——
in konj. komplexer Lage - - -

Vektorsumme der Farbartsignale liefert 2 U



Vektordifferenz der Farbartsignale liefert +2 V (c) bzw. - 2 V (d)

Bild 21. Vektorsumme bzw. Differenz der Farbartsignale in Normal- und konjugiert-komplexer Lage

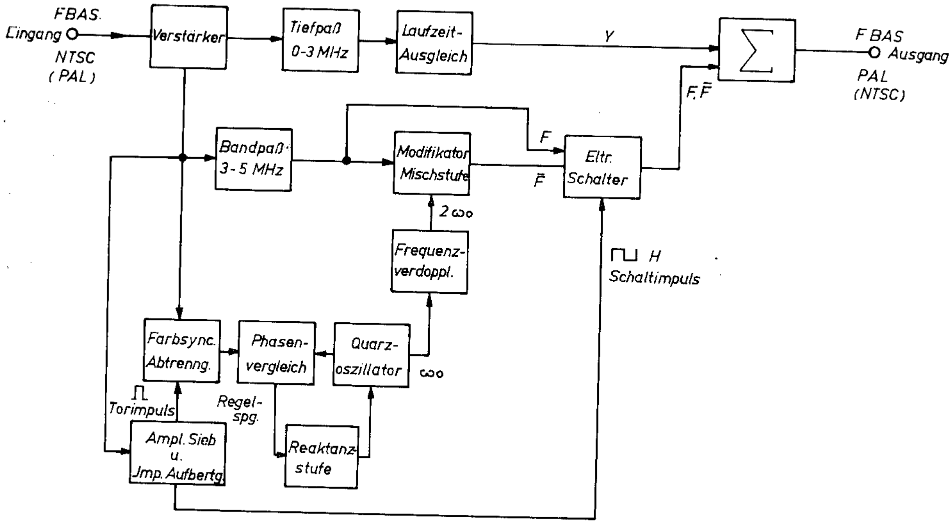

FBAS Eingang
NTSC
(PAL)
Verstärker
Tiefpaß 0-3 MHz
Laufzeit-Ausgleich
Y
Σ
FBAS Ausgang
PAL
(NTSC)
F, F̄
F
Bandpaß 3-5 MHz
Modifikator Mischstufe
F̄
Eltr. Schalter
2 ω₀
Frequenz-verdoppl.
H Schaltimpuls
Farbsync. Abtrenng.
Phasen-vergleich
Quarz-oszillator
ω₀
Torimpuls
Regel-spg.
Ampl. Sieb u. Jmp. Aufbertg
Reaktanz-stufe

Bild 22. Prinzipschaltbild einer NTSC → PAL (PAL → NTSC)-Transkodierung ohne Farbträgerversatz

Luminanzanteile aufgespalten. Während die Helligkeitskomponente über einen Laufzeitausgleich unmittelbar dem Ausgang zugeführt wird, durchläuft das Farbartsignal einen Modifikator (multiplikative Mischstufe, in der das Farbartsignal mit einer Trägerschwingung der doppelten Farbträgerfrequenz überlagert wird). Dieser Überlagerungsträger wird mit Hilfe der üblichen Regelautomatik vom Farbsynchronsignal des eingegebenen Signals frequenz- und phasenkonstant gehalten. Bei der Mischung entsteht außer einer abzusiebenden Schwingung der Summenfrequenz 3 ω_F die Differenzfrequenz beider Träger, die wieder den Farbträger selbst darstellt, jedoch die Modulation in der konjugiert-komplexen Lage enthält:

$$(12)\qquad F \sin(\omega_F \cdot t + \varphi) \cdot \cos 2\,\omega_F \cdot t =$$
$$F/2 \,\{ \sin(3\,\omega_F \cdot t + \varphi) + F/2 \sin(\omega_F \cdot t - \varphi) \}$$

F = Amplitude des Farbartsignals;
ω_F = Farbträgerfrequenz;
φ = Phasenlage des Farbartsignals.

Durch zeilenfrequente Umschaltung zwischen dem Eingangs- und Ausgangssignal dieses Modifikators erhält man das PAL-Farbsignal, das mit dem Luminanz- und dem ebenfalls modifizierten Farbsynchronsignal zusammen das vollständige PAL-Übertragungssignal liefert. Das Prinzip dieser Transkodierung läßt sich in der gleichen Weise für die Umsetzung eines PAL- in ein NTSC-Signal anwenden. Allerdings ist in beiden Fällen der Farbträger des Eingangs- und Ausgangssignals der gleiche, so daß aus Gründen einwandfreier Kompatibilität noch ein Frequenzversatz des Trägers in die optimale Offsetlage erforderlich ist.

Die Transkodierung eines NTSC- bzw. PAL-Signals in die SECAM-Modulation ist ebenfalls verhältnismäßig einfach durchführbar, wenn aus dem ankommenden Signalgemisch mit Hilfe eines sogenannten Kammfilters die Chrominanzkomponenten abgesiebt werden. Der Halbzeilenoffset des NTSC-Signals ergibt eine spektrale Verschachtelung der Luminanz- und Chrominanzkomponenten (Bild 23). Das Kammfilter, im Prinzip eine am Ende fehlabgeschlossene Verzögerungsleitung mit einer Laufzeit von einer Zeilendauer, weist einen Frequenzgang auf, bei dem abwechselnd Durchlaß- und Sperrstellen in Abstand der halben Zeilenfrequenz aufeinander folgen. Ähnliche Verhältnisse ergeben sich auch in der spektralen Verteilung eines PAL-Signals, so daß in beiden Fällen die Trennung von Luminanz- und Chrominanzanteilen praktisch und schaltungstechnisch möglich ist. Die Neumodulation der Farbinformation nach dem SECAM-Verfahren bereitet dann keinerlei grundsätzliche Schwierigkeiten mehr.

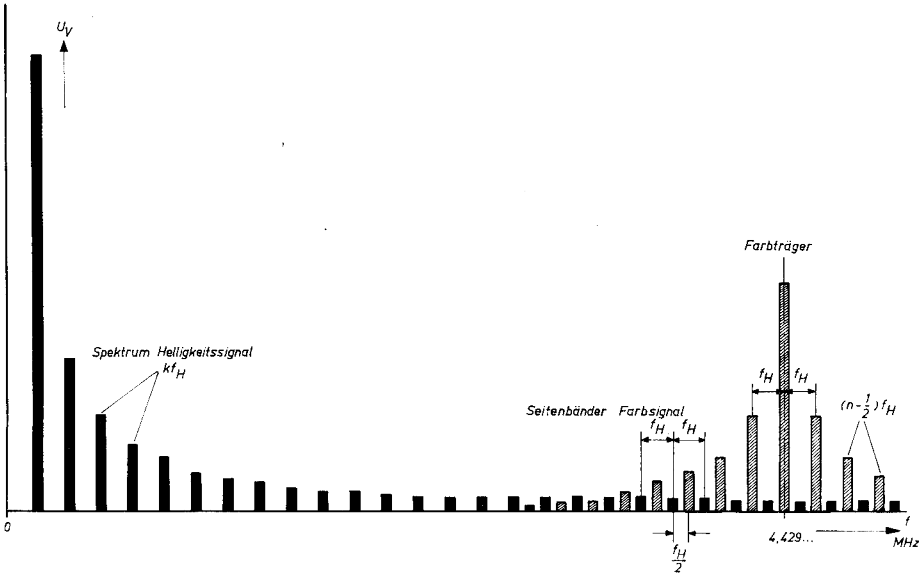


Bild 23. Verschachtelung der Spektren des Leuchtdichtesignals Y' und des Farbsignals beim Halbzeilenoffset für den Farbträger [9]

B. SECAM-NTSC/PAL-Transkodierung

Umgekehrt ist jedoch die Transkodierung von SECAM nach PAL oder NTSC erheblich schwieriger, wenn man Auflösungsverluste des transkodierten Bildes vermeiden will. Natürlich ist es immer möglich, durch Tiefpässe den Chrominanzanteil des Signals zu unterdrücken. Damit gehen aber auch die für eine gute Bildauflösung entscheidenden hochfrequenten Anteile des Luminanzsignals verloren. Eine Kammfiltertechnik, wie sie bei NTSC und PAL angewendet werden kann, ist für das frequenzmodulierte Farbartsignal des SECAM-Verfahrens nicht möglich, weil hier die Seitenbänder in gleicher Wahrscheinlichkeit über das gesamte Spektrum des Chrominanzbereichs verteilt sind. Bei dem derzeitigen Stand der Technik ist es also nur möglich, mit Hilfe der SECAM-Diskriminatoren die Farbdifferenzsignale zurückzugewinnen und diese dann erneut in NTSC- oder PAL-Modulatoren zu kodieren. Diese neuen Farbartsignale können dann zu dem bis etwa 3 MHz reichenden Rest des Luminanzbandes zugesetzt werden und ergeben ein, wenn auch in der Auflösung reduziertes, NTSC- bzw. PAL-Bildsignal. Ob es der fortschreitenden Entwicklung gelingen wird, die frequenzmodulierten Komponenten des Farbartsignals von den Luminanzanteilen zu trennen, bleibt abzuwarten. Nur auf diese Weise würde es jedoch möglich sein, eine Transkodierung SECAM/PAL bzw. SECAM/NTSC ohne Qualitätsverlust in der Wiedergabe durchzuführen.

IV. Farbbildwiedergabe

Die bisherigen Ausführungen befaßten sich ausschließlich mit den übertragungstechnischen Problemen des Farbfernsehens, die in den drei heute praktizierten Systemen ihre Lösung gefunden haben. Nicht minder große Schwierigkeiten waren indessen bei der Entwicklung einer geeigneten Wiedergaberöhre zu überwinden. Es soll hier nicht der Versuch unternommen werden, die zahllosen Entwürfe und Konstruktionen aufzuzählen, die bisher zur Lösung dieses Problems vorgeschlagen wurden, zumal nur wenige dieser Vorschläge über das Stadium eines labormäßigen Betriebs hinaus verfolgt wurden. Es zeichnet sich eine ähnliche Entwicklung ab, wie sie in dem ebenso langwierigen und schwierigen Weg zu einem optimalen elektro-akustischen Wandler beobachtet werden kann. Das NTSC-System hat die Problematik der Farbfernseh-Übertragungstechnik in einem genialen Wurf gelöst, wenn auch spätere Arbeiten noch graduelle Verbesserungen brachten. Dagegen stellt die Entwicklung der Farbfernseh-Röhre ein zähes und mühsames Ringen um kleinste technologische, betriebsmäßige und fertigungstechnische Fortschritte dar, dessen Ergebnis auch beim heutigen Stand der Technik noch keineswegs als abgeschlossen und voll befriedigend gesehen werden kann. Die bis heute fast ausschließlich für den Empfänger-Serienbau verwendete Lochmaskenröhre (Shadow-mask-tube) wird in ihrem Aufbau und ihrer Wirkungsweise durch die Bilder 24 und 25 erläutert.

Auf dem Leuchtschirm der Röhre ist anstelle der einfarbigen, homogenen Phosphorschicht einer Schwarzweiß-Röhre ein ineinander geschachteltes feines Raster von roten, grünen und blauen Phosphorpunkten angeordnet. Insgesamt überdecken den Schirm etwa 400 000 Punkte jeder Farbe. Die Phosphore werden angeregt durch drei Elektronenstrahlen, die unabhängig voneinander von den Farbwertsignalen R, G, B gesteuert werden und durch eine vor dem Schirm angebrachte Lochmaske so geführt werden, daß sie nur die ihnen zugeordneten Phosphore jeweils einer Farbe treffen. Die horizontale und vertikale Ablenkung der drei Strahlen erfolgt in der gleichen Technik durch Magnetfelder wie bei der Schwarzweiß-Röhre. Allerdings ist die Ablenk-

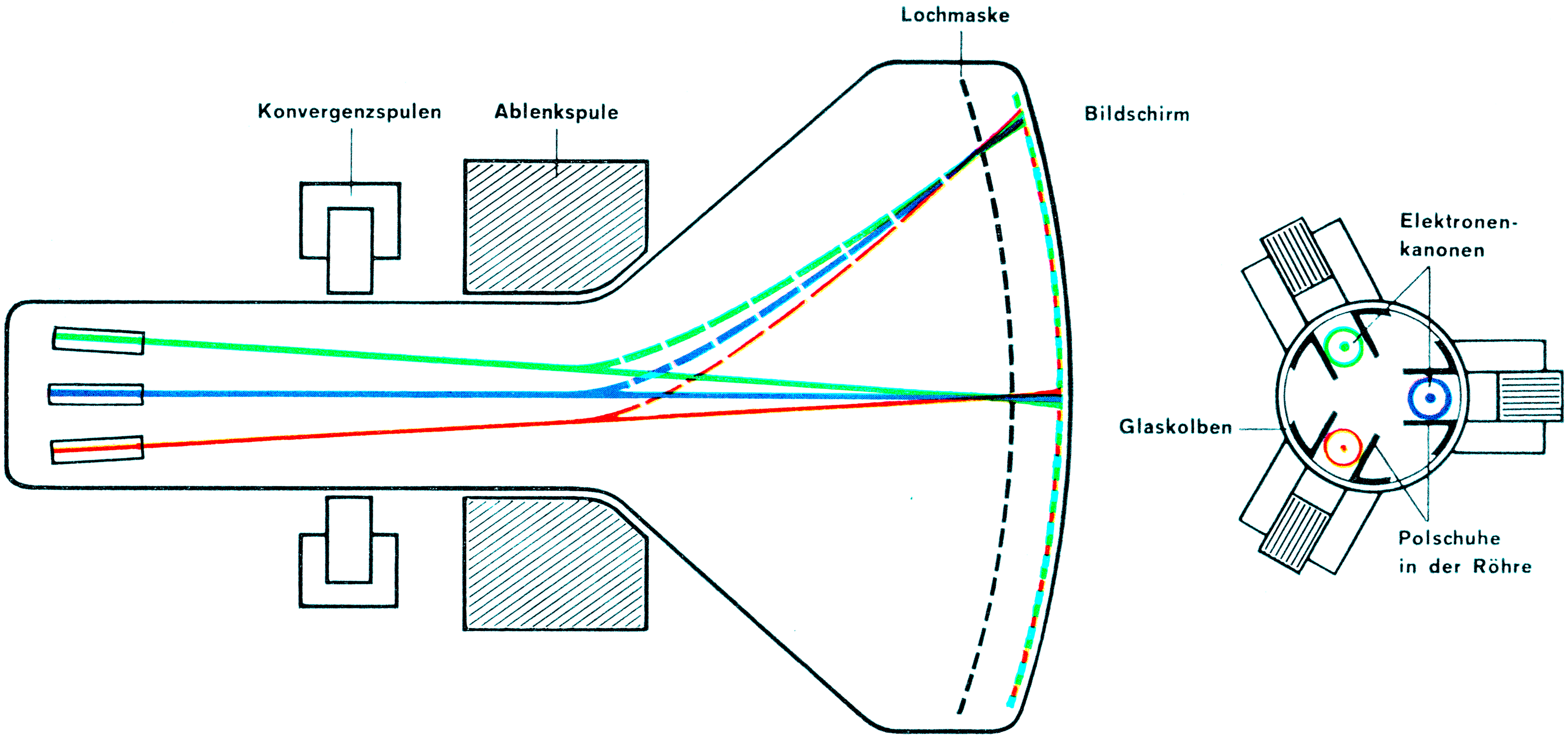

Lochmaske
Konvergenzspulen
Ablenkspule
Bildschirm
Elektronen-
kanonen
Glaskolben
Polschuhe
in der Röhre

Bild 24. Schattenmaskenröhre mit Ablenk- und Konvergenzspulen, von oben gesehen. Rechts: Anordnung der Elektronenkanonen und Konvergenzspulen [23] leistung etwa doppelt so hoch wie bei Schwarzweiß-Röhren, weil die Anodenspannung der Farbröhre mit etwa 25 kV stärkere Ablenkfelder erfordert. Die hohe Anodenspannung ist wiederum erforderlich, um den Lichtverlust durch die Strahlabdeckung an der Maske und die geringeren Wirkungsgrade der Farbphosphore auszugleichen. Die Fertigung der Röhre verlangt außerordentliche Präzision, um eine einwandfreie geometrische Zuordnung von Strahlerzeugungssystemen, Lochmasken und Phosphorpunkten zu erzielen. Darüber hinaus ist eine Reihe von elektrischen Korrekturen der Strahlführung notwendig, um zu verhindern, daß die Elektronenstrahlen in Teilen des Bildes andere als die ihnen zugeordneten Phosphore treffen, was zu Verfälschungen der Farbwiedergabe führen würde. Diese hohen Anforderungen an Fertigungstoleranzen und Stabilität verursachen einen hohen Gestehungspreis der Röhre, der etwa bei dem Dreifachen einer Schwarzweiß-Röhre liegt. Geringe Lichtausbeute und hohe Empfindlichkeit — schon das Erdmagnetfeld kann die Farbwiedergabe beeinflussen — kommen hinzu. Alles in allem bleibt der Eindruck bestehen, daß für die Vervollkommnung der Farbröhre noch vieles getan werden muß. Entwicklungstendenzen, das Dreistrahlsystem durch nur einen sequentiell auf

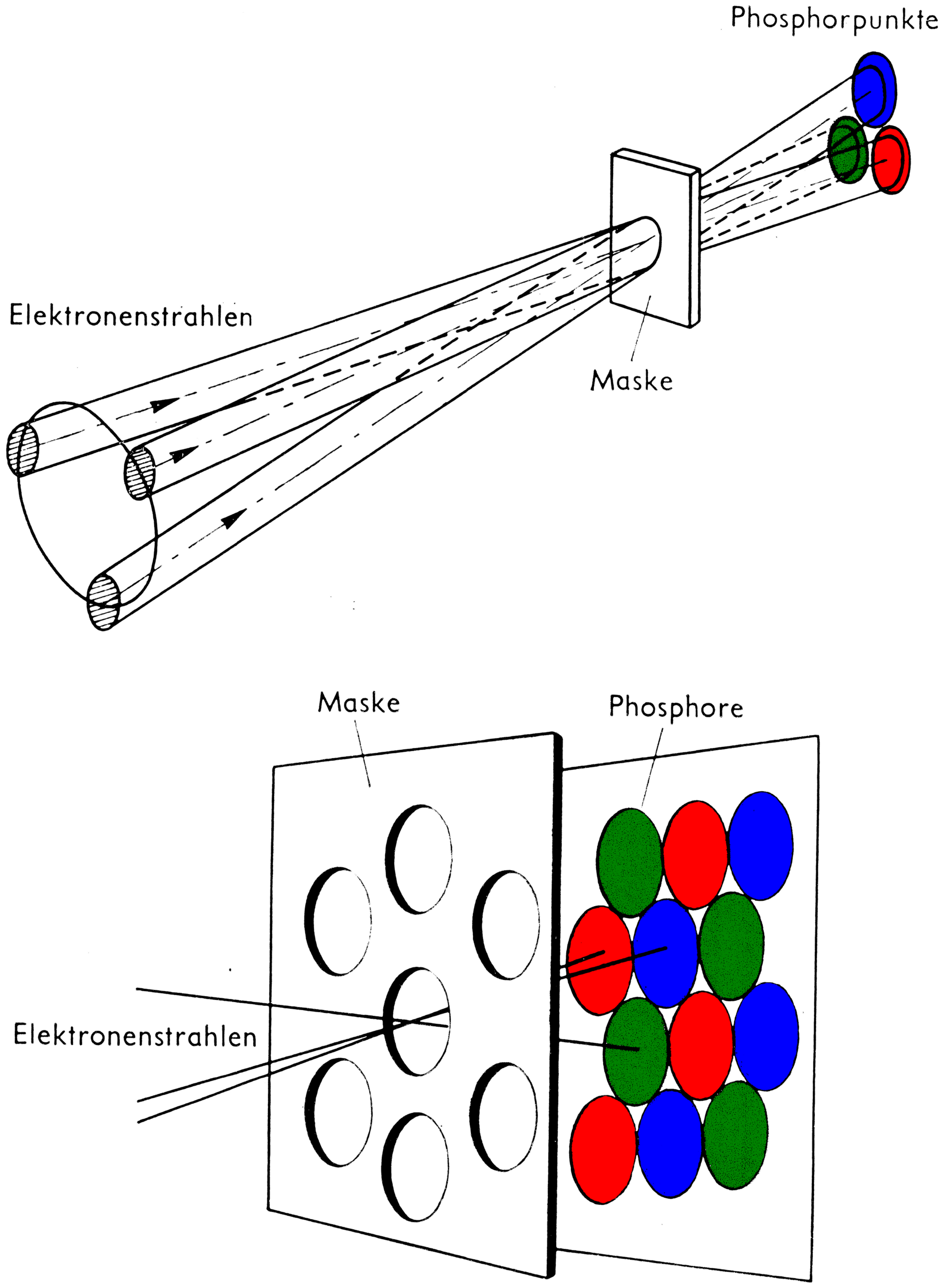
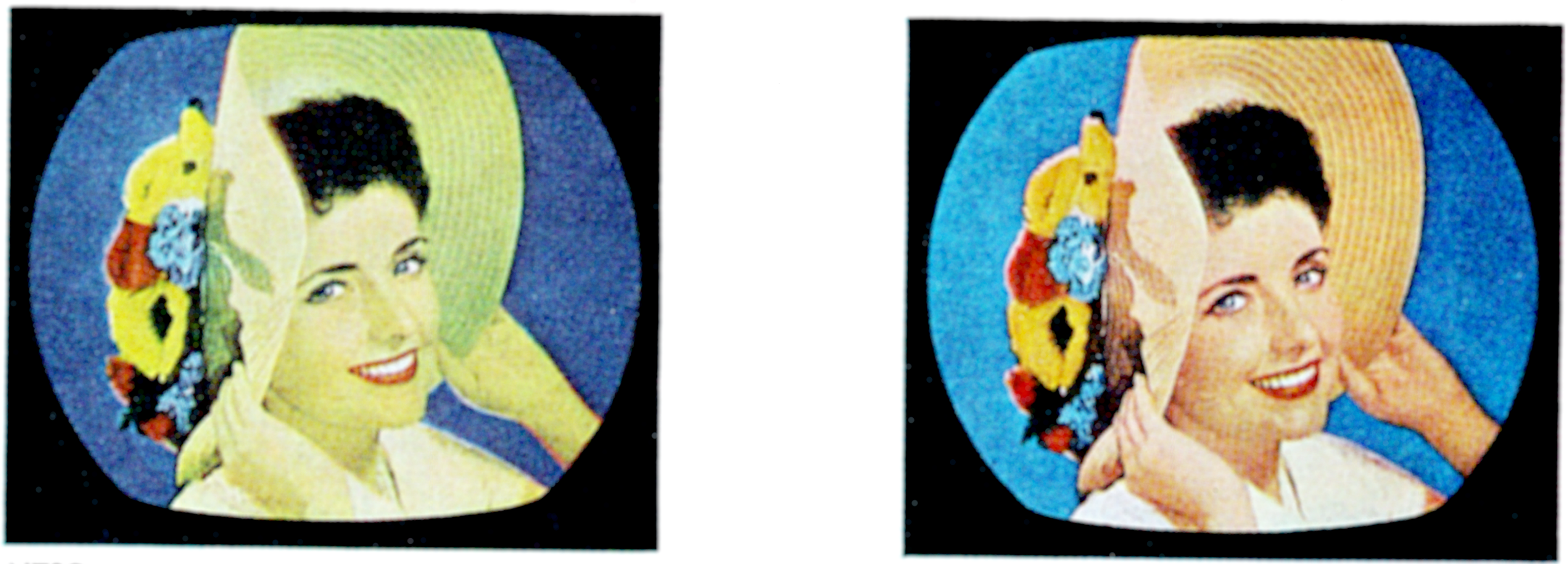
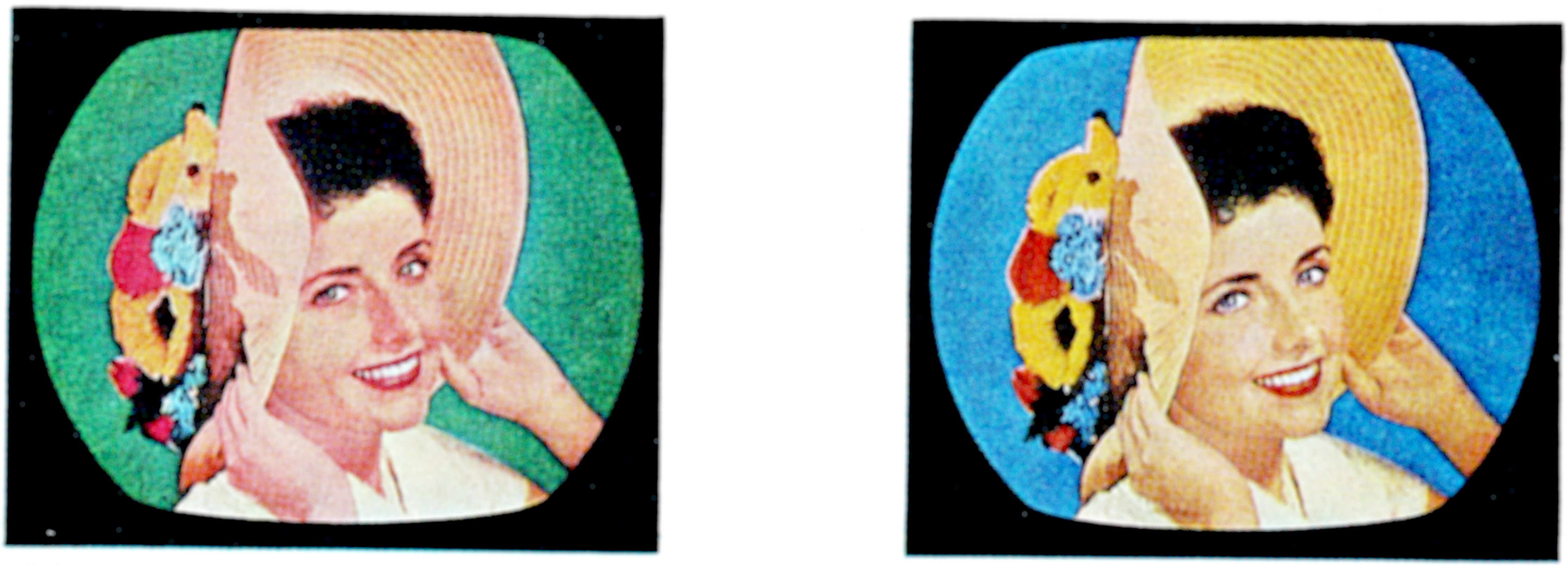


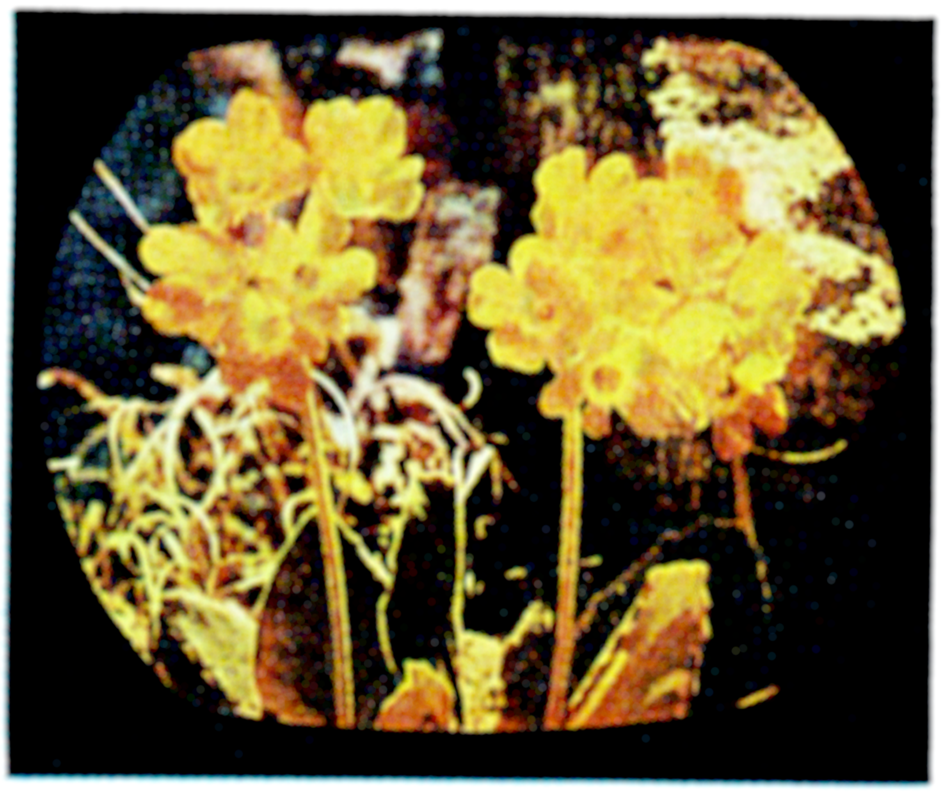
Bild 25. Prinzip einer Farbfernsehröhre; oben Lochmaskenröhre. Jede Kanone trifft nur Phosphorpunkte einer Farbe (R, G oder B); unten: Strahl, Maskenlöcher und Leuchtpunkte bei der Lochmaskenröhre [17]



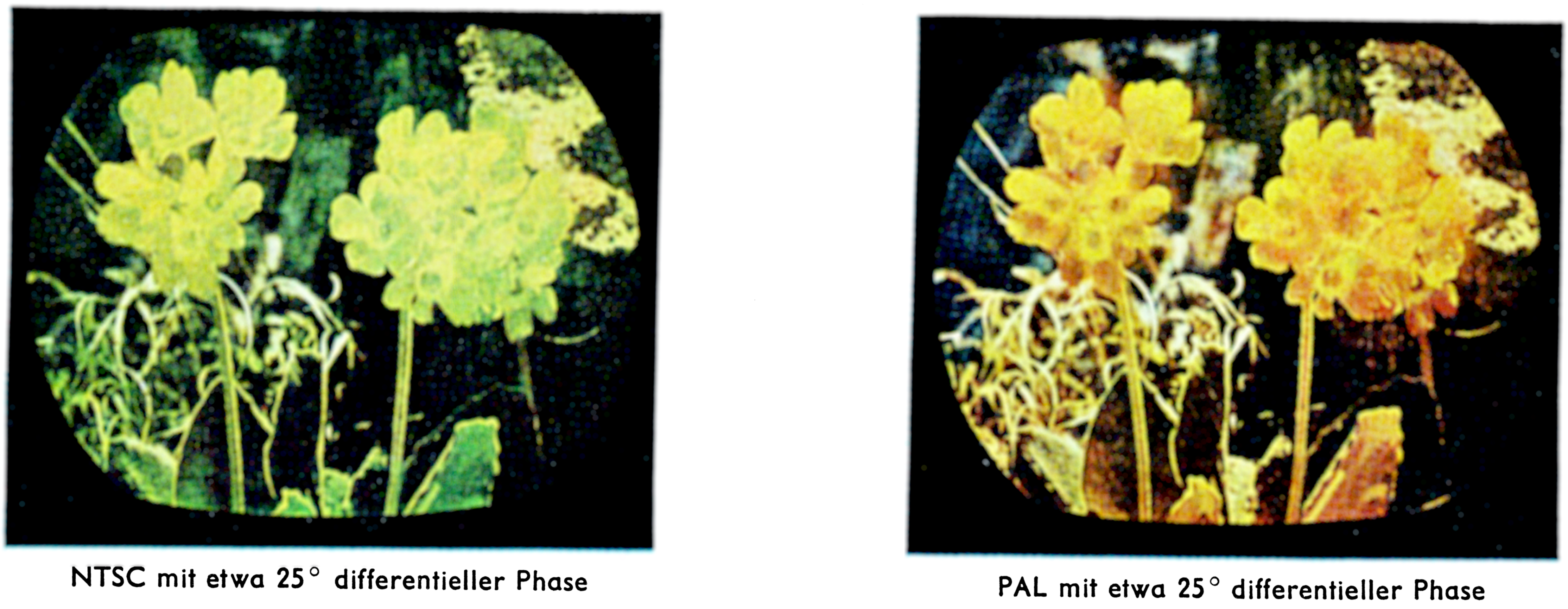
NTSC —45° Phasenabweichung des Referenzoszillators PAL



NTSC +45° Phasenabweichung des Referenzoszillators PAL



NTSC; PAL — normales Bild



NTSC mit etwa 25° differentieller Phase

PAL mit etwa 25° differentieller Phase

Bild 26. Farbverfälschungen durch Phasenfehler bei der NTSC-Übertragung im Vergleich mit der PAL-Übertragung [9] die verschiedenen Phosphore gerichteten Elektronenstrahl zu ersetzen, sind in verschiedenen Versionen verfolgt worden (apple tube, Chromatron), haben sich aber bisher aus fertigungstechnischen und anderen Gründen nicht durchsetzen können. Ein völlig neues Prinzip scheint sich in letzter Zeit in der Luminiszenzbildtafel anzudeuten. Hierbei wird die Eigenschaft gewisser Stoffe ausgenutzt, unter Einfluß von elektrischen Wechselfeldern aufzuleuchten. Eine solche Wiedergabeeinrichtung würde, da kein Vakuumgefäß mehr erforderlich ist, flache Tafelform aufweisen und damit von vornherein schon wesentliche Vorteile gegenüber der sperrigen und voluminösen Bauweise heutiger Röhrenformen haben. Allerdings stehen die Versuche mit Bildtafeln dieser Art auch für die Schwarzweiß-Wiedergabe noch im Anfang. Es kann als sicher gelten, daß die Lochmasken-Röhre noch auf viele Jahre hinaus das Feld behaupten wird.

V. Schrifttum

1. R. Theile: Farbfernsehen. VDE-Fachberichte, 23. Bd., 1964.
2. J. W. Wentworth: Color Television Engineering. McGraw-Hill Book Comp. Inc., New York, Toronto, London, 1955.
3. D. G. Fink: Colour Television standard. McGraw-Hill Book Comp., New York 1955.
4. W. N. Sproson: A colorimetric study of a constant luminance system. J. Brit. I.R.E. Vol. 23 (1962), No. 4, S. 311—315.
5. W. F. Bailey: The constant luminance principle in NTSC colour television. Proc. I.R.E. Vol. 42 (1954), No. 1, S. 60—66.
6. P. Cassagne, M. Sauvanet: Le système de télévision en couleurs SECAM en comparison avec le système NTSC. Ann. Radioélectr. Vol. 16 (April 1961), S. 109—121.
7. P. Cassagne: Neuere Verbesserungen beim SECAM-Farbfernsehsystem. radiomentor, Jg. 28 (1962), Nr. 10, S. 833—834.
8. H. Schönfelder: Der Einfluß von System- und Übertragungsfehlern bei einer Farbfernsehübertragung nach dem SECAM-Verfahren. Arch. elektr. Übertragung, Jg. 16 (1962), H. 8, S. 385—399.
9. W. Bruch: Farbfernsehsysteme — Überblick über das NTSC-, SECAM- und PAL-System. Telefunken-Ztg., Jg. 36 (1963), Heft 1/2.
10. W. Bruch: Wahl eines Präzisionsoffsets für den Farbhilfsträger im PAL-Farbfernsehsystem. Telefunken-Ztg., Jg. 36 (1963), Heft 1/2.
11. W. Bruch: Neuere Entwicklungen für PAL-Farbfernsehübertragungsverfahren. Funktechnik Bd. 21, H. 5, März 1966.
12. W. Bruch: Prinzip und Wirkungsweise von Ultraschallverzögerungsleitungen. Telefunken-Ztg., Jg. 38 (1965), Nr. 1.
13. W. Bruch: Das Übersprechen von Leuchtdichtesignalkomponenten in den Farbkanal eines NTSC- und PAL-Farbfernsehempfängers. Telefunken-Ztg., Jg. 38 (1965), H. 1.
14. W. Bruch: Transcoder PAL-NTSC — Die Umwandlung eines PAL-Signals in ein NTSC-Signal und die Umkehrung NTSC in PAL. Telefunken-Ztg., Jg. 37 (1964), H. 2.
15. W. Bruch: Der Einfluß der Leuchtdichtesprünge bei der Restseitenbandübertragung von NTSC-, PAL- und SECAM-Farbfernsehbildern auf die Farbflächen und Farbübergänge. Telefunken-Ztg., Jg. 38 (1965), H. 1.
16. W. Bruch, K. Kühn und R. Schirmer: Ein transistorisierter Farbfernseh-Coder, umschaltbar für das NTSC- und PAL-Farbfernsehsystem. Telefunken-Ztg., Jg. 38 (1965), H. 1.

17. W. Bruch: Farbbildröhren — Ein Überblick über die wichtigsten Farbfernsehwiedergabeverfahren. Telefunken-Ztg., Jg. 38 (1965), H. 1.
18. W. Bruch: The PAL Colour TV Transmission System. Rundfunktechn. Mitteilungen, 10. Jg. (1966), H. 1.
19. W. Bruch: Some Recent Developments in the PAL-Colour TV-System. Telefunken-Ztg. — Special Edition — June 1966.
20. E. Schwartz: Übersicht über die verschiedenen Farbfernsehsysteme. Archiv elektr. Übertragung, Jg. 9 (1955), H. 11, S. 487—504.
21. F. Jaeschke: Zur Schaltungstechnik von Demodulatoren für Farbfernsehsignale nach dem NTSC-Verfahren. Arch. elektr. Übertragung, Jg. 15 (1961), S. 187—199.
22. F. Jaeschke: Europa vor der Einführung des Farbfernsehens. Umschau in Wissenschaft und Technik, H. 8, April 1966, S. 257—261.
23. K. Welland: Farbfernsehen. Franzis-Verlag, München.
24. W. Bruch: Die Kenndaten des PAL-Farbfernsehsignals. Funkschau 1966, H. 21, S. 663—664.

Johannes Müller

Die internationalen Bemühungen um eine europäische Farbfernsehnorm

I. Einleitung
II. Vorbereitungen und Aufgabenstellung
  CCIR-Zwischentagung, Brüssel, April 1955
  CCIR-Farbfernseh-Informationsreise, März/April 1956
  VIII. Vollversammlung des CCIR, Warschau, August 1956
  Gründung einer Arbeitsgemeinschaft für das Farbfernsehen (Gerber-Ausschuß)
III. Normung der Grundparameter 1956—1961
  Verhandlungen im Rahmen der EWG
  CCIR-Zwischentagung, Moskau, Juni 1958
  IX. Vollversammlung des CCIR, Los Angeles, März/April 1959
  Tagung der Untergruppe „Esping", Genf, Oktober 1959
  Expertentagung, Cannes, Februar/März 1961
  Europäische Rundfunkkonferenz, Stockholm, Juni 1961
IV. Entwicklung neuer Farbkodierungsverfahren in Europa 1957—1962
  Die SECAM-Entwicklung in Frankreich
  Die PAL-Entwicklung in Deutschland
  CCIR-Zwischentagung, Bad Kreuznach, Juni 1962
V. Normung des Farbfernsehsystems 1962—1966
  Gründung der UER-Ad-hoc-Gruppe für Farbfernsehen
  X. Vollversammlung des CCIR, Genf, Februar 1963
  Tagung der Farbfernseh-Untergruppe des CCIR, London, Februar 1964
  CCIR-Zwischentagung, Wien, März 1965
  XI. Vollversammlung des CCIR, Oslo, Juni/Juli 1966
VI. Schlußbetrachtung und Ausblick
VII. Schrifttum

I. Einleitung

Der Einführungstermin für das Farbfernsehen ist in der Bundesrepublik Deutschland nach sorgfältiger Prüfung und gemeinsamer Vorbereitung durch die Rundfunkanstalten, die Industrie und die Deutsche Bundespost für den Herbst 1967 festgelegt worden. Um einen guten Auftakt zu haben, soll mit regelmäßigen öffentlichen Farbfernsehsendungen auf der Großen Deutschen Funkausstellung begonnen werden, die im August 1967 in Berlin stattfindet. Auch in den Ländern Großbritannien, Frankreich und in der Sowjetunion hat man die Absicht, noch im Jahre 1967 das Farbfernsehen offiziell einzuführen.

Die Einrichtung eines neuen Rundfunkdienstes, wie ihn das Farbfernsehen darstellt, ist aber nicht nur eine interne nationale Angelegenheit, sondern wegen der damit zusammenhängenden Senderplanung, die weit über die Grenzen des eigenen Landes hinaus gehen muß, ein europäisches Problem und wegen des internationalen Programmaustausches, der sich heute bereits mit Hilfe der Satellitentechnik zwischen den Kontinenten vollzieht, sogar eine Frage von weltweiter Bedeutung. Die Einführung öffentlicher Farbfernsehdienste in Europa mit dem Eröffnungsjahr 1967 ist daher seit vielen Jahren im CCIR [1]), einem der beratenden technischen Ausschüsse der weltweiten Internationalen Fernmelde-Union, und in den technischen Arbeitskommissionen der beiden europäischen Rundfunk-Unionen, der UER [2]) (Westeuropa) und der OIRT [3]) (Osteuropa), vorbereitet worden, um in der Festlegung eines möglichst allgemeingültigen Farbfernsehstandards die notwendigen technischen Voraussetzungen für diesen neuen Funkdienst zu schaffen.

Diese Vorbereitungen fanden ihren Abschluß auf der XI. Vollversammlung des CCIR, die vom 22. Juni bis 22. Juli 1966 in Oslo tagte. Das Ergebnis dieser internationalen Zusammenarbeit war sicher nicht in allen Punkten zufriedenstellend; es war aber auf keinen Fall so enttäuschend, wie es in der Tagespresse in teilweiser Verkennung des technischen Sachverhalts oft zu lesen war. In solchen Berichten wurde immer nur die letzte Phase der internationalen Bemühungen um eine einheitliche Farbfernsehnorm für Europa betrachtet, die sich lediglich auf das Farbfernsehverfahren bezog und weniger aus technischen, sondern mehr aus politischen Gründen nicht zum Erfolg geführt hat.

In einer Rückblende soll daher ein Überblick über den gesamten Komplex der mit der Festlegung einer Farbfernsehnorm zusammenhängenden technischen Teilprobleme gegeben werden. Es wird erläutert, wie die Schwierigkeiten, die sich aus der Situation des Schwarzweiß-Fernsehens in Europa mit seinen sechs verschiedenen Fernsehstandards und drei unterschiedlichen Zeilen-Definitionen ergaben, allmählich durch sachliche Diskussionen in zahlreichen Konferenzen behoben werden konnten. Dabei zeigt sich, daß es im Laufe von zehn Jahren gelungen ist, auf der Suche nach der besten technischen Lösung einen Kompromiß zu finden, der die gestellte Aufgabe, wenn auch nicht vollständig, so doch in den für eine europäische Farbfernsehnorm wesentlichsten Parametern gelöst hat.

II. Vorbereitungen und Aufgabenstellung

Im Dezember 1953 wurde in den USA von der „Federal Communications Commission" (FCC) das Farbfernsehen nach dem NTSC-Verfahren offiziell eingeführt. Diesem Schritt war eine etwa 10jährige Entwicklungsperiode vorausgegangen, in der sehr intensiv an den Fragen und Problemen des Farbfernsehens gearbeitet und eine Reihe von Möglichkeiten für einen Farbfernsehrundfunk untersucht worden war. Zu fast derselben Zeit, nämlich Anfang 1954, fing man in Deutschland gerade an, einen Fernsehrundfunk für das Schwarzweiß-Fernsehen auf breiterer Basis wieder einzurichten und die ersten internationalen Programmaustauschsendungen zu organisieren.

---

1) CCIR = *C*omité *C*onsultatif *I*nternational des *R*adiocommunications.

2) UER = *U*nion *E*uropéenne des *R*adiodiffusions.

3) OIRT = *O*rganisation *I*nternationale de *R*adiodiffusion et *T*élévision.

Dabei zeigte es sich, in welchem Dilemma man sich in Europa befand. Die 625-Zeilen-Norm galt nur für einen Teil unseres Kontinents, und gerade die in fernsehtechnischer Hinsicht am weitesten fortgeschrittenen Länder hatten eine andere Zeilendefinition, nämlich Großbritannien die 405-Zeilen- und Frankreich die 819-Zeilen-Norm. Es mußten zunächst „Normwandler" entwickelt werden, die an den Übergangsstellen von Ländern mit unterschiedlicher Zeilenzahl eingesetzt wurden. Dadurch wurde der Programmaustausch sehr erschwert und die Bildqualität, die an sich schon zu wünschen übrig ließ, beim damaligen Stand der Normwandler-Technik weiterhin verschlechtert.

Man zog daraus in den zuständigen internationalen Gremien den Schluß, daß man sich vor der Einführung eines Farbfernsehens in Europa rechtzeitig um eine einheitliche europäische Farbfernsehnorm bemühen müsse, die die Verwendung von Normwandlern überflüssig macht; andernfalls würden die Schwierigkeiten für einen internationalen Programmaustausch praktisch unüberwindlich sein. Deshalb wurden auf der **CCIR-Zwischentagung, Brüssel, im Frühjahr 1955** erstmalig die Studienfrage und die Studienprogramme über die erforderlichen Parameter eines zukünftigen Farbfernsehstandards in allen Einzelheiten festgelegt [1]. Die Fragestellung war besonders wichtig und dringend im Hinblick auf die damals in Kürze bevorstehende Verwendung der Frequenzbereiche IV und V für das Fernsehen. Bei der Ausarbeitung einer Farbfernsehnorm sollten entsprechend dieser CCIR-Frage folgende Gesichtspunkte besonders berücksichtigt werden:

— Befriedigende Bildgüte
— Sparsamer Gebrauch der Bandbreite
— Zuverlässiger Empfänger mit tragbaren Kosten
— Betrieb von Studio-, Sender- und Übertragungseinrichtungen
— Empfindlichkeit gegen Störungen
— Kompatibilität
— Frequenzplanung
— Internationaler Programmaustausch
— Entwicklungsaussichten
— Unterschiede zwischen den Bereichen I/III und den Bereichen IV/V.

Außerdem wurde beschlossen, daß im Frühjahr 1956 eine internationale Kommission vor allem die USA, aber auch einige europäische Länder, nämlich England, Frankreich und die Niederlande bereisen sollte, um sich vom technischen Stand des Farbfernsehens zu überzeugen, und um dadurch die Auffindung einer Farbfernsehnorm für Europa zu erleichtern [2].

Die **CCIR-Informationsreise** begann in den USA als dem einzigen Land, in dem damals bereits seit einigen Jahren reguläre Farbfernsehsendungen nach dem NTSC-System durchgeführt wurden. Von den sieben in New York befindlichen Farbfernsehsendern strahlten drei für etwa 50 000 Farbfernsehempfänger pro Monat insgesamt 40 Stunden Farbfernsehprogramme aus. Das NTSC-System, das von einem Arbeitsausschuß der amerikanischen Industrie (*N*ational *T*elevision *S*ystem *C*ommittee) entwickelt und in allen Einzelheiten festgelegt worden war, wurde unter der Vielzahl der untersuchten Verfahren deshalb von der FCC ausgewählt und für verbindlich erklärt, weil es die Grundforderung der Kompatibilität, — d. h. die Fähigkeit, farbige Bilder mit einem Schwarzweiß-Empfänger und umgekehrt Schwarzweiß-Programme mit einem Farbempfänger grautonrichtig empfangen zu können, — auf die einfachste und eleganteste Weise erfüllte.

Da im Verlauf der weiteren Ausführungen auf das Prinzip des NTSC-Verfahrens immer wieder Bezug genommen wird, soll es im folgenden kurz erläutert werden: Die Farbauszüge der drei Primärfarben werden in ein normales Schwarzweiß-Bild umgewandelt, d. h. in das Leuchtdichtesignal Y mit voller Bandbreite, und in eine zusätzliche Farbinformation, die aus zwei Farbkomponenten als Farbdifferenzsignalen mit weit geringerer Bandbreite besteht. Die Farbinformation wird durch Modulation eines Farbhilfsträgers, der in den oberen Teil des Videobandes eingefügt wird, innerhalb der für das Schwarzweiß-Fernsehen in Frage kommenden Bandbreite mitübertragen (Bild 1). Bei dem Modulationsprinzip des NTSC-Verfahrens handelt es sich um eine simultane Amplituden-Doppelmodulation mit unterdrücktem Träger (Bild 2). Die Trägerfrequenz wird den Modulatoren für die beiden Farbdifferenzsignale B—Y und R—Y in zwei um 90° versetzte Phasenlagen zugeführt. Dabei entstehen zwei senkrecht aufeinanderstehende, in der Amplitude modulierte Komponenten des Farbträgers. Diese werden geometrisch addiert, wonach ein resultierender Farbträger F entsteht, der sowohl in der Amplitude als auch

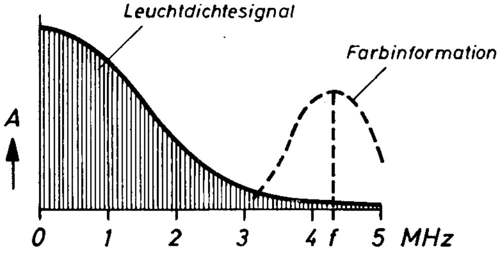


Bild 1. Spektrale Verteilung eines durchschnittlichen Schwarzweiß-Bildes mit eingefügter Farbinformation

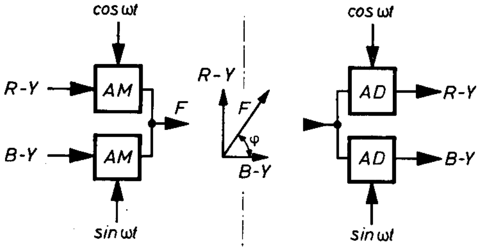


Bild 2. Schema der NTSC-Modulation und -Demodulation; ω Kreisfrequenz des Farbträgers

in der Phase moduliert ist. Die Phasenlage φ der Resultierenden entspricht dabei dem Farbton, während die Amplitude die Sättigung bestimmt. Außerdem muß auf der vorderen Schwarzschulter noch ein Schwingungszug der Farbträgerfrequenz mitübertragen werden, der bei der synchronen Demodulation im Empfänger die Bezugsphase liefert.

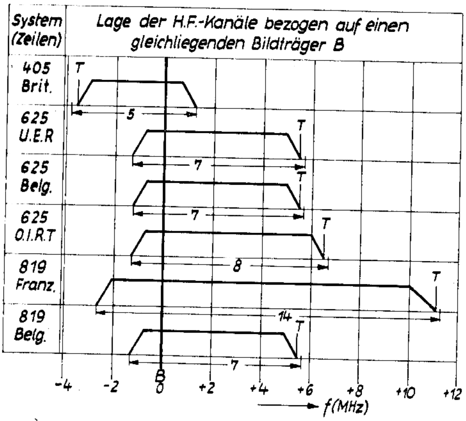
Die Vorführungen, Vorträge und Diskussionen bei der CCIR-Informationsreise, die praktisch alle Teilgebiete des Farbfernsehens vom Studio bis zum Empfänger berührten und ausgezeichnet organisiert waren, ließen immer wieder klar erkennen, daß das NTSC-System seiner physikalischen Konzeption nach in der Lösung des Kompatibilitätsproblems und in der Kodierung eine der genialsten Erfindungen des Fernsehens ist. Sie zeigten aber auch, wo die Schwächen dieses Systems liegen, nämlich in der Abhängigkeit des Farbtons von der Phasenlage des Farbträgers. Im Hinblick auf die für Übertragungssysteme zu fordernden Eigenschaften fielen daher die außerordentlich strengen Anforderungen und engen Toleranzen für lineare und nichtlineare Amplituden- und Phasenverzerrungen (differentielle Phase und Verstärkung) auf. Sie erfüllten die europäischen Experten eingedenk des technischen Standes der damaligen europäischen Fernsehverbindungen mit Sorge [3]. Außerdem wirkte der Farbfernsehempfang damals noch nicht sehr überzeugend. Insbesondere waren die in New York empfangenen Bilder in den Farben sehr verwaschen und mit vielen farbigen Reflexionen versehen. Der Empfang auf dem flachen Land war zwar etwas besser, zeigte aber immer noch störende Echoerscheinungen. Dazu kam, daß die damaligen Empfänger noch nicht stabil genug zu sein schienen; sie mußten im Farbton immer wieder nachgestellt werden. Diese beiden Erkenntnisse waren es wohl, die die Wissenschaftler und Fernsehtechniker in Europa veranlaßten, darüber nachzudenken, wie diese Schwierigkeiten durch verbesserte oder andere Farbfernsehverfahren vermieden werden könnten.

Bei dem Besuch in England wurden von der British Broadcasting Corporation (BBC) in erster Linie NTSC-Bilder nach dem 405-Zeilen-Standard vorgeführt, die eine sehr gute Bildqualität aufwiesen. In den Niederlanden wurde von der Firma Philips neben dem NTSC-System auch das *T*wo-*S*ub-*C*arrier-System vorgeführt, das dem NTSC-Verfahren im Prinzip ähnlich war, aber in der Modulation der Farbinformation abwich. Das „TSC-System", wie es auch genannt wurde, überträgt wie das NTSC-Verfahren das Leuchtdichtesignal mit voller Bandbreite, im gleichen Kanal aber zwei Farbhilfsträger, deren Amplituden dem roten bzw. dem blauen Farbsignal proportional sind. Die Bandbreite des Rot-Kanals beträgt 2 MHz und die des Blau-Kanals 1 MHz. Der Vorteil dieses Systems gegenüber dem NTSC-System war die Unempfindlichkeit gegenüber Phasendrehungen der Hilfsträger und die einfachere Demodulation. Die Nachteile lagen jedoch darin, daß die Amplituden der beiden Farbträger in bezug auf das Leuchtdichtesignal keine Abweichungen zeigen durften, was besondere Kunstschaltungen im Empfänger erforderlich machte.

Auch in Frankreich befaßte man sich mit dem farbigen Fernsehen. Aber während man sich in England und in den Niederlanden mehr oder weniger eng an das NTSC-System anlehnte, ging man dort eigene Wege. Die „Societé Radio Industrie“ entwickelte das sog. „Henri de France-System“; die „Laboratoires d'Electronique et de Physique Appliquées“ arbeiteten an einem System „Double Message“ und der französische Rundfunk, die „Radiodiffusion et Télévision Française“ (RTF), bemühte sich um das System „Valensi“. Auch diese Systeme sollen kurz erläutert werden.

Das „Henri de France-System“ benutzte 409 Bildzeilen, die — ohne Zeilensprung — nacheinander in je $1/_{50}$ Sek. übertragen wurden. Der Farbbildgeber lieferte abwechselnd für je eine Zeilendauer das rote und das grüne Signal videofrequent mit einer Bandbreite von 7 MHz. Das blaue Signal wurde zusätzlich mit einer Breite von 1 MHz auf einen Hilfsträger von etwa 8,5 MHz aufmoduliert. Das System „Double Message“ nach Professor Boutry benutzte zur gleichzeitigen Übertragung des roten und grünen Signals eine Trägerfrequenz von etwa 7,6 MHz, deren positive Halbwellen von dem grünen und deren negative von dem roten Signal moduliert wurden. Das blaue Signal wurde in normaler Weise auf einen zweiten Träger von etwa 9,2 MHz aufmoduliert. Das „Valensi-System“ stimmte insoweit mit dem NTSC-Verfahren überein, als zusätzlich zum Helligkeitssignal die Farbinformation übertragen wurde. Valensi ließ aber die Phase des Hilfsträgers konstant und veränderte seine Amplitude derart, daß jeweils einem bestimmten Ausschnitt aus der Fläche des Farbdreiecks eine bestimmte Amplitude zugeordnet wird. Dabei waren etwa 30 verschiedene Amplitudenstufen vorgesehen. Alle diese französischen Farbsysteme befanden sich noch sehr im Zustand der Laborentwicklung und sind auch praktisch darüber nicht hinausgekommen.

Auf der **VIII. Vollversammlung des CCIR,** die dann im August desselben Jahres in **Warschau** stattfand, erklärten die „Gerber-Länder“ (Länder mit einer 625-Zeilen-Norm und einem Bild-Tonträger-Abstand von 5,5 MHz), daß sie durch die Vorführungen in den USA und England trotz der noch dem Farbfernsehempfang anhaftenden Mängel von der Brauchbarkeit des NTSC-Systems überzeugt wurden und bereit seien, die Konzeption dieses Systems als Grundlage für die europäische Norm anzunehmen. Die niederländische Postverwaltung erklärte sich bereit, im Interesse einer einheitlichen Lösung auf die Weiterentwicklung des TSC-Systems der Firma Philips zugunsten von NTSC zu verzichten. Die englische Delegation stimmte zwar mit der Beurteilung des NTSC-Systems überein, hielt aber eine Entscheidung über die für das Farbfernsehen zu wählende Zeilenzahl noch für verfrüht. Die französische Delegation erklärte, daß sie sich vor dem Abschluß der Entwicklungsarbeiten an den drei französischen Farbsystemen in keiner Weise festlegen könne. Das Ergebnis war eine Entschließung folgenden Wortlauts: „Zur Zeit ist nur ein Farbfernsehsystem — nämlich das NTSC-System — so weitgehend erprobt, daß es für eine europäische Norm in Betracht gezogen werden kann. Dies soll aber nicht ausschließen, daß eine andere Norm erprobt und angenommen wird, wenn ihre Erprobung mit befriedigendem Ergebnis abgeschlossen ist“ [2]. Diesem Beschluß ist es übrigens zu verdanken, daß man fast überall in Europa bei der Konzeption neuer Richtfunkstrecken die strengen Übertragungsanforderungen für das NTSC-System zugrunde legte [3].



System (Zeilen)	Videoband (MHz)	Bild/Tonab. (MHz)	Restsband (MHz)	Bildmod.	Tonmod.	N_B/N_T
405 Brit.	3	− 3,5	+ 0,75	Pos.	AM	4 : 1
625 UER	5	+ 5,5	− 0,75	Neg.	FM	5 : 1
625 Belg.	5	+ 5,5	− 0,75	Pos.	AM	4 : 1
625 O.I.RT	6	+ 6,5	− 0,75	Neg.	FM	2 : 1 5 : 1
819 Franz.	10	+ 11,15	− 2	Pos.	AM	4 : 1
819 Belg.	5	+ 5,5	− 0,75	Pos.	AM	4 : 1

Bild 3. Europäische Fernsehnormen in den Bereichen I und III

Bezüglich des weiteren Vorgehens und im Hinblick auf die bevorstehende Europäische Rundfunk-Konferenz, die eine Wellenverteilung in den Bereichen IV und V vornehmen sollte, bestand Klarheit, daß man sich vorerst auf die Parameter einer Farbfernsehnorm einigen müsse, die für die internationale Planung von Fernsehsendernetzen und den internationalen Programmaustausch wichtig sind: Zeilenzahl, HF-Kanalraster und Farbhilfsträger. Daß diese Beschränkung weise und notwendig war, lehrt ein Blick auf Bild 3, das eine Zusammenstellung der in Europa nebeneinander bestehenden Fernsehnormen mit ihren wichtigsten Parametern gibt.

Außerdem haben sich — angeregt durch das Ergebnis der Vollversammlung — die Schweiz, Italien, die Niederlande und die Bundesrepublik Deutschland unter dem Vorsitz von Dr. Gerber (Schweiz) zu einer **Arbeitsgemeinschaft für das Farbfernsehen (Gerber-Ausschuß)** zusammengefunden. Hier sollten im kleinen Kreise, unabhängig vom CCIR, aber dennoch um die Arbeit des CCIR zu erleichtern, die technischen Fragen und Probleme, die mit einer zukünftigen europäischen Farbfernsehnorm zusammenhängen, diskutiert und untersucht werden mit dem Ziel, ggf. gemeinsame Übertragungsversuche durchzuführen. Je ein Experte von Rundfunk und Industrie waren als Berater des Vertreters der Verwaltung zugelassen. Der Kreis wurde so klein wie möglich gehalten, um eine möglichst große Wirksamkeit in der Arbeit zu erzielen.

III. Normung der Grundparameter 1956—1961

In den folgenden Jahren stellte man im Rahmen des CCIR die gemeinsamen Arbeiten auf dem Gebiet der Farbfernsehsystemfrage zurück und versuchte, eine Einigung über die genannten notwendigen

Grundparameter für eine einheitliche europäische Farbfernsehnorm zu erzielen. Die Arbeiten wurden insbesondere in den „Gerber-Ländern“ gestützt durch Untersuchungen und Überlegungen über die Wahl der zweckmäßigsten Farbträgerfrequenz. Dabei nahm man entsprechend dem Warschauer Beschluß das NTSC-System als Grundlage und beschränkte sich lediglich auf dessen Anpassung an die 625-Zeilen-Norm. In diesem Zusammenhang sei an einige Arbeiten erinnert, die sich mit diesem Problem beschäftigten [4, 5, 6]. Die damals diskutierten Farbträgerfrequenzen waren verhältnismäßig niedrig und lagen bei 4,21, 4,10 und 4,17 MHz.

In diese Zeit (1958) fallen auch die **Verhandlungen zwischen den Ländern des Gemeinsamen Marktes in Paris.** Dabei sollte noch vor der Zwischentagung der XI. Studienkommission des CCIR, die für Juni 1958 nach Moskau anberaumt war, ein gemeinsamer Standpunkt der EWG-Länder über ein HF-Kanalraster für Schwarzweiß- und Farbfernsehen erarbeitet werden. Es standen verschiedene Möglichkeiten zur Diskussion, wobei man Wert auf kompatible Kanaleinteilungen in Europa legte, nachdem in den Bereichen IV und V eine Einigung auf eine einzige Kanalbandbreite nicht erreichbar war. Von den Kanaleinteilungen waren die Kombinationen 7/14 MHz, 7,5/15 MHz und 8/16 MHz sowie als einheitliches gemeinsames Raster eine Bandbreite von 10 MHz im Gespräch. Man kam überein, gemeinsam die Kombination 8/16 MHz zu vertreten.

Wenn es auch nicht möglich war, sich bei der **CCIR-Tagung in Moskau** auf eine einheitliche 625-Zeilen-Definition für das Farbfernsehen zu einigen, so fand doch der Vorschlag eines 8 MHz-Rasters — kompatibel mit 16 MHz — als Voraussetzung für eine gemeinsame Senderplanung in Europa starke Beachtung. Hinsichtlich der Systemtechnik sei erwähnt, daß bei den vielseitigen Demonstrationen in Moskau und Leningrad nur 625-Zeilen-Bilder nach dem NTSC-System vorgeführt wurden.

Aufbauend auf den Moskauer Verhandlungen zeigte sich dann bei der **IX. Vollversammlung des CCIR in Los Angeles, März 1959,** eine gewisse Bereitwilligkeit, allgemein für das Fernsehen in den Bereichen IV und V — mit Ausnahme von Frankreich, das für eine Kanalbandbreite von 16 MHz eintrat — ein HF-Kanalraster von 8 MHz anzunehmen. Allerdings gingen die Meinungen über den Bild-Tonträger-Abstand — 5,5 MHz oder 6,5 MHz — bei den „625-Zeilen-Ländern“ auseinander. Von seiten Großbritanniens wurde erstmalig mitgeteilt, daß England — vorbehaltlich der Entscheidung des „Television Advisory Committee“ — bereit sei, in den Bereichen IV und V die 625-Zeilen-Norm mit einem Bild-Tonträger-Abstand von 6,5 MHz anzunehmen. Bezüglich des zukünftigen Farbfernsehens hatte auch Frankreich in Aussicht gestellt, auf ein 625-Zeilen-System mit 6,5 MHz Bild-Tonträger-Abstand und ein 8 MHz-Kanalraster überzugehen. Ein Farbträger von 4,43 MHz wurde dabei von vielen Verwaltungen, insbesondere von den „Gerber-Ländern“, als Kompromiß für angemessen gehalten. Im Hinblick auf die bevorstehende Europäische Rundfunk-

Konferenz wurde beschlossen, die für die Senderplanung wichtigsten Parameter von einer Untergruppe der XI. Studienkommission noch einmal prüfen zu lassen. Sie sollte untersuchen, ob es nicht doch möglich ist, sich in den Bereichen IV und V auf denselben Bild-Tonträger-Abstand zu einigen, bzw. über die Verwendung des bei der 625-Zeilen-Norm mit einem 7 MHz-Raster freibleibenden 1 MHz zu beraten.

Die Erfahrungen, die man während des Aufenthaltes in Los Angeles über das dort seit 1953 eingeführte Farbfernsehen sammeln konnte, waren nicht sehr ermutigend und haben sicher auf die weitere Entwicklung des Farbfernsehens in Europa Einfluß gehabt. So hatte man trotz großer Bemühungen kaum die Möglichkeit, Farbfernsehsendungen in der Öffentlichkeit (Gaststätten usw.) anzusehen. Ebenso wurden weder bei der Besichtigung einer Farbfernsehempfängerfabrik noch bei dem Besuch des CBS-Studios Farbfernsehbilder vorgeführt. Dieses mangelnde Interesse am Farbfernsehen in Amerika ließ sich wohl darauf zurückführen, daß das große Geschäft auf dem Gebiet des Farbfernsehens, wie die graphische Darstellung in Bild 4 zeigt, zunächst ausgeblieben war.

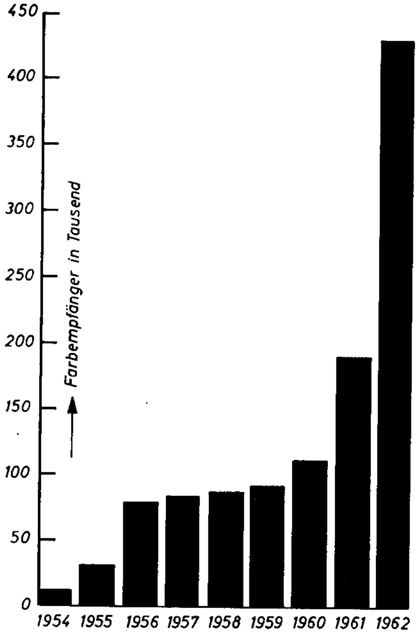
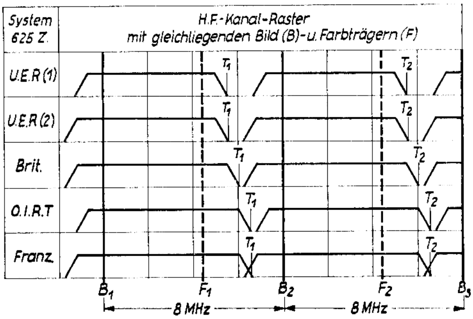


Bild 4. Zahl der in den USA hergestellten Farbfernsehempfänger in den Jahren 1954 bis 1962

Auf der Tagung der genannten **Untergruppe „Esping", Genf, Oktober 1959** (benannt nach ihrem Vorsitzenden, dem Schweden E. B. Esping, der auch den Vorsitz der XI. Studienkommission des CCIR innehat), kam man zu dem Ergebnis, daß als Grundlage für die Frequenzplanung in den Bereichen IV und V, insbesondere für das Farbfernsehen, nur noch Normen mit 625 Zeilen und einem einheitlichen HF-Raster von 8 MHz berücksichtigt werden sollten. Außerdem wurde als bester Kompromiß für alle 625-Zeilen-Standards eine Farbträgerfrequenz von 4,43 MHz vorgeschlagen. Zu einer Einigung über einen einheitlichen Bild-Tonträger-Abstand kam es jedoch nicht. Im Gegenteil: Zu den beiden bestehenden Möglichkeiten kam noch eine dritte hinzu. Großbritannien schlug nämlich als Kompromiß zwischen den bestehenden Bild-Tonträger-Abständen von 5,5 MHz und 6,5 MHz und als beste Lösung für die Ausnutzung einer HF-Kanalbandbreite von 8 MHz einen Abstand von 6 MHz und eine Nyquistflanke von 1,25 MHz anstatt 0,75 MHz vor. Diese Vorschläge wurden dann während der **„Expertentagung" in Cannes im Februar 1961** nochmals überprüft und bei der nachfolgenden **Rundfunk-Konferenz, Stockholm, Juni 1961,** als Arbeitsgrundlage offiziell angenommen.

Damit war das Ziel, das man sich für die europäische Wellenkonferenz hinsichtlich der Normung in den Bereichen IV/V gesteckt hatte, erreicht und der erste und wichtigste Teil in dem Streben nach einer einheitlichen Farbfernsehnorm für Europa nach 5 Jahren praktisch abgeschlossen. Es stand fest, daß auch England und Frankreich nicht nur für einen zukünftigen Farbfernsehdienst, sondern in den Bereichen IV und V auch für das Schwarzweiß-Fernsehen eine 625-Zeilen-Norm einführen und ihre Fernsehdienste mit 405 bzw. 819 Zeilen allmählich abbauen würden. Außerdem hatte man sich auf einen gemeinsamen Farbhilfsträger von 4,43 MHz und auf einen einheitlichen HF-Kanalabstand von 8 MHz geeinigt. Der unterschiedliche Bild-Tonträger-Abstand wurde, vom Standpunkt der Frequenzplanung und des internationalen Programmaustausches aus gesehen, nicht als sehr gravierend betrachtet.

Bild 5 gibt eine Übersicht über die nunmehr in Europa in den Bereichen IV und V für das Schwarzweiß- und Farbfernsehen geltenden 625-Zeilen-Standards mit ihren wesentlichen Parametern. Sie unterscheiden sich, abgesehen von der französischen Norm, die auch in den Modulationsarten von Bild und Ton von den anderen Standards abweicht, nur in der Breite des Restseitenbandes und im Ton-Bildträger-Abstand. Als CCIR-Normen werden sie in der Reihenfolge von oben nach unten mit den Großbuchstaben G, H, I, K und L bezeichnet. Ein Vergleich mit Bild 3 zeigt eindeutig, daß damit beachtliche Fortschritte in der Normung erreicht worden sind.

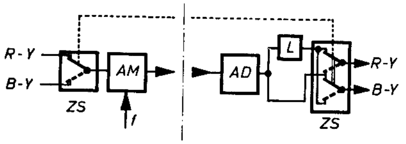


System 625 Z.	Videoband (MHz)	Bild/Tonab. (MHz)	Rests. band (MHz)	Bild-mod.	Ton-mod.	Farb-träger	N_B/N_T
U.E.R (1)	5	5,5	0,75	Neg.	FM	4,43	5 : 1
U.E.R (2)	5	5,5	1,25	Neg.	FM	4,43	5 : 1
Brit.	5,5	6	1,25	Neg.	FM	4,43	5 : 1
O.I.R.T	6	6,5	0,75	Neg.	FM	4.43	5 : 1
Franz.	6	6,5	1,25	Pos.	AM	4.43	8 : 1

Bild 5. Europäische Fernsehnormen in den Bereichen IV und V

IV. Entwicklung neuer Farbkodierungsverfahren in Europa 1957—1962

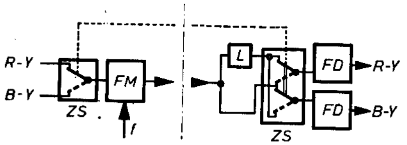
Wenn man auch in den internationalen Gremien während der letzten Jahre eine Diskussion über Farbfernsehsystem-Fragen vermieden und sich bewußt auf die für den Programmaustausch und die Senderplanung wichtigsten Parameter einer Farbfernsehnorm beschränkt hatte, so gingen doch in den Laboratorien die Arbeiten über die Kodierungs-Möglichkeiten der Farbinformation weiter [7]. Diese Anstrengungen wurden gemacht, um von den dem Original-NTSC-Verfahren anhängenden Nachteilen, nämlich der Empfindlichkeit gegen lineare und nichtlineare Übertragungsverzerrungen (Echos, differentielle Phase und Verstärkung usw.), frei zu kommen. Hier ist zuerst Frankreich zu nennen, wo Henri de France in den Jahren 1957/58 eine Entwicklung begründete, in der die simultane Doppelmodulation des Farbträgers beim NTSC-System durch eine sequentielle Einfachmodulation ersetzt wurde [8]. Bei diesem Verfahren wird der Farbträger zeilenweise abwechselnd mit Hilfe eines elektronischen Schalters einmal mit der einen und dann mit der anderen Farbkomponente moduliert, d. h., die beiden Farbdifferenzsignale (B—Y) und (R—Y) werden nacheinander übertragen (Bild 6). Durch eine Verzögerungsleitung im Empfänger, die die ankommende Farbkomponente um eine Zeilendauer (64 μs) zurückhält, wird erreicht, daß die beiden Farbkomponenten gleichzeitig neben dem Leuchtdichtesignal für die Dekodierung in die drei Grundfarben zur Verfügung stehen. Natürlich tritt bei der übertragenen Farbinformation eine Ungenauigkeit dadurch auf, daß die Farbkomponenten zweier benachbarter Zeilen miteinander kombiniert werden. Diese Unschärfe in vertikaler Richtung fällt aber nicht ins Gewicht, zumal sie nicht so groß ist wie die Unschärfe durch die Bandbeschneidung der Farbinformation in horizontaler Richtung. Das Verfahren verwendete in seiner ersten Version Amplitudenmodulation, wobei die 64 μs-Verzögerungsleitung aus einfachem Laufzeitkabel bestand und nach der Demodulation im Videobereich eingesetzt wurde.



ZS elektronischer Zeilenumschalter
L Verzögerungsleitung für Zeilendauer
f Farbträger

Bild 6. Modulations-Schema des Henry de France-Verfahrens 1957/58

Bei Untersuchungen, die unter anderem auch im Institut für Rundfunktechnik (IRT) und im Forschungsinstitut des FTZ durchgeführt wurden [9], hat sich gezeigt, daß dieses Verfahren zwar unempfindlich gegen Phasenfehler war, aber außerordentlich empfindlich gegen nichtlineare Verzerrungen der Amplitude. Es war deshalb, abgesehen von den damaligen Schwierigkeiten der Laufzeitverzögerung, praktisch nicht einsatzfähig.



ZS elektronischer Zeilenumschalter
L Verzögerungsleitung für Zeilendauer
f Farbträger

Bild 7. Modulations-Schema des SECAM-Verfahrens 1960

Dieses Verfahren wurde dann unter dem Namen **SECAM-Verfahren** (*Sequentielle couleur à mémoire*) von der Compagnie Française de Télévision (CFT) weiterentwickelt. Das Laufzeitkabel wurde dabei durch eine Ultraschall-Verzögerungsleitung und die Amplitudenmodulation durch Frequenzmodulation ersetzt (Bild 7), um auch die Empfindlichkeit gegenüber linearen und nichtlinearen Amplitudenverzerrungen abzustellen. Die durch die Frequenzmodulation bedingten Störungen des kompatiblen Schwarzweiß-Bildes mußten dabei wieder durch besondere Maßnahmen beseitigt werden [10]. Es sei erwähnt, daß beide Versionen zusammen mit dem NTSC-System im Mai 1960 auf einer Leitungsschleife München — Hamburg — München in Übertragungsversuchen getestet wurden mit dem Ergebnis, daß selbst die neue SECAM-Version gegenüber dem NTSC-System in der Bildqualität wegen des einwandfreien Zustandes der Übertragungsstrecke keine Vorteile zeigte.

Etwa zur gleichen Zeit wurde im Institut für Rundfunktechnik ein Kodierungsverfahren entwickelt und untersucht, das die Empfindlichkeit gegenüber differentiellen Phasenfehlern dadurch zu vermeiden sucht, daß der Farbträger mit beiden Farbdifferenzsignalen gleichzeitig, aber mit unterschiedlicher Modulationsart (AM- und FM-) moduliert wird. Es wurde unter dem Namen FAM bekannt [11], aber international nicht zur Diskussion gestellt.

An dieser Stelle soll noch einmal auf die Arbeiten der Arbeitsgemeinschaft für Farbfernsehen (Gerber-Ausschuß) eingegangen werden. In der Zeit von 1956—1961 fanden 7 Tagungen statt. Um auch die Verwaltungen, die nicht die 625-Zeilen-Norm vertraten, über die Besprechungen zu orientieren, wurden jeweils ein Vertreter des französischen Rundfunks (RTF) und des britischen General Post Office (GPO) als Beobachter eingeladen. Die technischen Diskussionen in diesem kleinen Kreise haben sehr dazu beigetragen, die Farbfernsehnorm in ihren Grundparametern so weit festzulegen, wie es für die Europäische Rundfunk-Konferenz in Stockholm erforderlich war. Während der 7. Tagung in Darmstadt (25. und 26. Oktober 1961) fanden erstmalig Farbfernseh-Übertragungsversuche auf internationalen Leitungen unter Verwendung eines in der Arbeitsgemeinschaft auf die 625-Zeilen/5 MHz-Norm modifizierten NTSC-Systems von Rom nach Darmstadt statt [12]. Das Ergebnis dieser Übertragungsversuche und der im Rahmen des Gerber-Ausschusses durchgeführten Untersuchungen der damaligen „Varianten“ SECAM und FAM wurde dahin zusammengefaßt, daß das NTSC-System trotz seiner Empfindlichkeit gegenüber der differentiellen Phase grundsätzlich auch im europäischen Leitungsnetz eingesetzt werden kann und in der Summe der bei der Wahl eines Farbfernsehsystems zu berücksichtigenden Parameter von den genannten Varianten nicht übertroffen wird. Deshalb beschloß man, sich weiterhin vorwiegend mit dem NTSC-System zu befassen und an einer optimalen Bestimmung seiner Parameter für die 625-Zeilen-Norm weiter zu arbeiten.

Dennoch wirkte der Impuls, den Henri de France mit seiner Idee der sequentiellen Übertragung der beiden Farbkomponenten gegeben hat, in der Suche nach besseren Kodierungsverfahren weiter. Außerdem stand nunmehr, wie die letzte SECAM-Version gezeigt hatte, eine zwar noch teure, aber handliche Verzögerungsleitung zur Verfügung. So versuchte W. Bruch in der Abteilung für Grundlagenentwicklung bei der Firma Telefunken, die Vorteile der sequentiellen Übertragung der Farbkomponenten (SECAM) mit der bewährten Amplitudenmodulation mit unterdrücktem Träger (NTSC) zu kombinieren, um dadurch die Nachteile der schlechteren Kompatibilität des SECAM-Verfahrens zu umgehen [13]. Diese Variante, die in der Literatur als SECAM/NTSC bezeichnet wird, ist die Vorstufe in der Weiterentwicklung zum **PAL-Verfahren.** W. Bruch versuchte mit diesem Verfahren, das bewährte Modulationsprinzip des NTSC-Systems soweit wie möglich beizubehalten und mit den Vorteilen zu verbinden, die eine sequentielle Übertragung der Farbsignale wegen ihrer Unempfindlichkeit gegen Phasenfehler und Farbtonänderungen bietet [14]. Das sequentielle Prinzip wird im PAL-Verfahren jedoch nur insoweit angewendet, als nicht die einzelnen Farbdifferenzsignale, sondern nur die Phasenlage des aus beiden Farbdifferenzsignalen resultierenden Farbvektors zeilenweise im Wechsel übertragen wird. Die Grundidee dieses Prinzips findet sich bereits in einer amerikanischen Arbeit aus der Entwicklungszeit des NTSC-Systems [15]. Sie wurde jedoch damals nicht weiterverfolgt. Der Modulationsvorgang beim PAL-System entspricht daher praktisch dem des NTSC-Verfahrens (Bild 8). Eine zusätzliche Maßnahme besteht darin, daß die Phasenlage der einen Modulationskomponente von Zeile zu Zeile um 180° umgeschaltet wird (*P*hase *A*lternation *L*ine), wodurch der Farbvektor F um die (B—Y)-Achse gespiegelt und in F′ übergeht (Bild 9). Auf der Empfangsseite wird diese Umschaltung durch einen synchron arbeitenden Zeilenumschalter wieder rückgängig gemacht. Findet auf dem Übertragungsweg durch Übertragungsverzerrungen eine Drehung des Farbvektors F um den Betrag $\Delta\varphi$ statt, so erfolgt diese Drehung auch für den umgeschalteten Vektor F′ in derselben Richtung. Nach der rückläufigen Umschaltung im Empfänger erhält man einen Farbvektor, der von Zeile zu Zeile um den Betrag $+ \Delta\varphi$ und $- \Delta\varphi$ um seine ursprüngliche auf der Sendeseite eingestellte Phasenlage φ herumpendelt. Die zeilenweise Umschaltung eines Farbtonfehlers in seinem Vorzeichen wird aber vom Auge weitgehend integriert, so daß immer die richtige, dem Vektor F

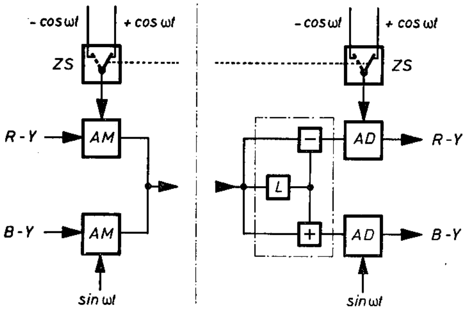


Bild 8.
Schema der PAL-Modulation und -Demodulation

ZS	elektronischer Zeilenumschalter
L	Verzögerungsleitung für Zeilendauer
ω	Kreisfrequenz

entsprechende Farbe erscheint (Einfach-PAL). Bei größeren Phasenfehlern kann das Auge die Integration nicht mehr vornehmen; es tritt ein merkbares Zeilenflimmern auf. Dieses wird dadurch vermieden, daß man die Integration des Auges durch eine exakte Mittelwertbildung der beiden von Zeile zu Zeile um den Betrag von $\pm \Delta \varphi$ pendelnden Farbvektoren ersetzt. Man erreicht dies mit Hilfe einer Laufzeitkette. Sie ist genau auf die Zeilendauer abgeglichen. Beide Farbdifferenzsignale werden dabei durch Addition und Subtraktion getrennt und über zwei Zeilen gemittelt (Standard-PAL). Die wesentlichen Vorteile sind weitgehende Unempfindlichkeit gegen lineare und nichtlineare Phasenfehler und Restseitenbandverzerrungen im Chrominanzkanal sowie eine automatisch richtige Farbtoneinregelung.

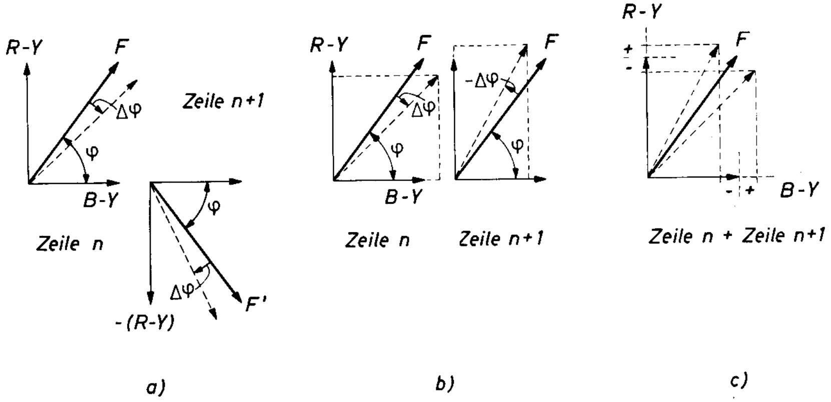


Bild 9. Vektorielle Darstellung des PAL-Prinzips
a) sendeseitig, b) empfangsseitig für Einfach-PAL, c) empfangsseitig für Standard-PAL mit Verzögerungsleitung

Mit diesen neuen Erkenntnissen auf dem Gebiet der Farbfernseh-Systemtechnik versehen — vielleicht besser gesagt, belastet —, ging man dann im **Juni 1962 zur Zwischentagung der XI. Studienkommission des CCIR** nach **Bad Kreuznach.** Hier wurden erstmalig die in der Zwischenzeit auf den Konferenzen von Cannes und Stockholm für die Bereiche IV/V und damit auch für das Farbfernsehen erarbeiteten neuen 625-Zeilen-Normen in die CCIR-Dokumentation aufgenommen. Bezüglich der Normung eines bestimmten Farbfernsehsystems, wie z. B. des in den USA bereits eingeführten NTSC-Verfahrens, bestand allgemein Zurückhaltung. Man war auf allen Seiten bemüht, einer Empfehlung, ja sogar einem zu sehr in die Einzelheiten gehenden Bericht aus dem Wege zu gehen. Der Grund lag darin, daß zum ersten Mal eine Reihe von Dokumenten vorgelegt worden war, die sich auf das SECAM-System bezogen, und auch an anderen Stellen in der Zwischenzeit Untersuchungen mit Varianten des NTSC-Systems durchgeführt worden waren. In einem kurzen Bericht brachte man zum Ausdruck, daß zwar hinsichtlich einiger Grundforderungen des

Farbfernsehsystems durchaus Einigkeit bestehe, daß man aber vor der Einführung von öffentlichen Farbfernsehdiensten in Europa noch eine Reihe von Untersuchungen durchführen sollte.

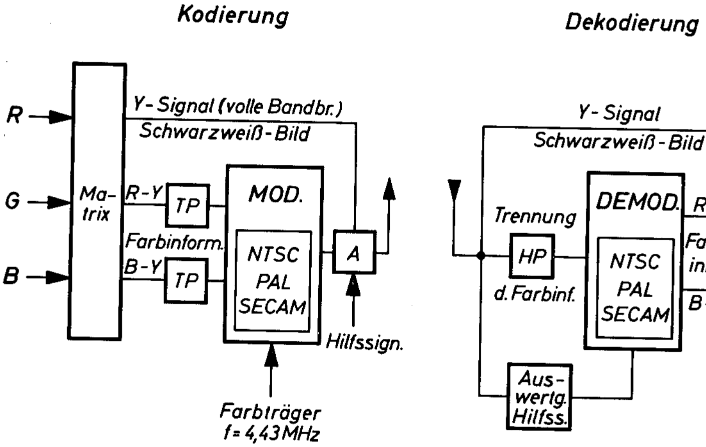

Kodierung
Dekodierung
R
G
B
Matrix
Y-Signal (volle Bandbr.)
Schwarzweiß-Bild
R-Y
TP
Farbinform.
B-Y
TP
MOD.
NTSC
PAL
SECAM
A
Hilfssign.
Farbträger
f = 4,43 MHz
Y-Signal
Schwarzweiß-Bild
Trennung
HP
d. Farbinf.
DEMOD.
NTSC
PAL
SECAM
R-Y
Farbinform.
B-Y
Matrix
Auswertg. Hilfss.
R
G
B

Bild 10. Allgemeines Schema der kompatiblen Farbfernsehübertragung für NTSC, PAL und SECAM

Man war sich darüber einig, daß das zukünftige Farbfernsehsystem kompatibel zu sein hat, und darüber, wie sich die Kompatibilität erreichen läßt — Umwandlung der drei Primärfarben in ein Leuchtdichtesignal und zwei Farbdifferenzsignale — und schließlich, daß zu diesem Zwecke ein Farbträger von etwa 4,43 MHz am oberen Ende des Videobandes eingefügt und mit der Farbinformation, die aus zwei Farbdifferenzsignalen besteht, moduliert werden muß (Bild 10). Das bedeutete aber, daß in diesen Punkten das Prinzip des NTSC-Systems zu übernehmen war. Lediglich in der Art der Modulation des Farbträgers gingen die Meinungen auseinander. Es ist daher in Fachkreisen auch immer darauf hingewiesen worden, daß es sich bei den Verfahren SECAM und PAL nicht eigentlich um neue Systeme, sondern nur um Varianten des NTSC-Systems handele. Daran sollte immer gedacht werden, wenn von den verschiedenen „Farbfernsehsystemen“ NTSC, SECAM und PAL gesprochen wird.

V. Normung des Farbfernsehsystems 1962—1966

Diese Unentschlossenheit in der Wahl des Farbfernsehsystems und die Tatsache, daß das CCIR als weltweite Organisation in Fragen der Normung weniger beweglich ist als eine kleine rein europäische Gruppe, veranlaßte die British Broadcasting Corporation (BBC), die ursprünglich bereits 1966 das Farbfernsehen einführen wollte, die Westeuropäische Rundfunk-Union (UER) für die Fragen der Farbfernsehsystem-Normung zu interessieren. Es war zu erwarten, daß ein solches Gremium die anstehenden Probleme auf rein technischer Basis ohne politische Gesichtspunkte behandeln würde. Es wurde deshalb im November 1962 beschlossen, eine **UER-Ad-hoc-Gruppe für Farbfernsehen** zu gründen, um die Arbeiten in der Systemwahl auf internationaler Grundlage zu intensivieren und damit die Bemühungen des CCIR in der Auffindung einer europäischen Farbfernsehnorm zu unterstützen. Um einen möglichst guten Wirkungsgrad zu erzielen, sollten nur diejenigen Länder in der Ad-hoc-Gruppe vertreten sein, die sich bereits praktisch mit den Fragen des Farbfernsehens beschäftigt hatten. Dabei handelte es sich um die Länder Großbritannien, Frankreich, die Niederlande, Schweiz, Italien und die Bundesrepublik Deutschland, die sich mit Vertretern von Rundfunk, Post und Industrie an diesen Normungsarbeiten und den damit zusammenhängenden technischen Untersuchungen beteiligten. Um die Vielzahl der technischen Probleme richtig bearbeiten zu können, wurden 6 Untergruppen gegründet, die sich mit Systemtechnik, Empfänger, Ausbreitung, Sendertechnik, Fernsehleitungen und Studiotechnik zu beschäftigen hatten. Bereits im Januar 1963 wurde nach eingehender Prüfung der vorliegenden Vorschläge beschlossen, das NTSC-System mit den beiden Varianten SECAM und PAL entsprechend dem damaligen Stand der Technik international zur Diskussion zu stellen und sorgfältig in möglichst vielen Parametern zu untersuchen.

Auf der **X. Vollversammlung des CCIR, Genf, Februar 1963,** konnten damit nur die Beschlüsse der Zwischentagung von Bad Kreuznach mit dem Hinweis bestätigt werden, daß bei den verschiedenen Verwaltungen und Organisationen zur Zeit noch Untersuchungen mit dem „NTSC- und SECAM-System sowie ihren Varianten“ laufen. Um die Schaffung einer einheitlichen Farbfernsehnorm für Europa zu beschleunigen, wurde von Großbritannien vorgeschlagen, im Rahmen des CCIR noch vor der im April 1965 in Wien vorgesehenen Zwischentagung der XI. Studienkommission eine Untergruppe dieser Studienkommission einzuberufen. Sie sollte sich als Expertengruppe lediglich mit der Frage nach dem geeigneten Farbfernsehsystem auseinandersetzen.

Bei dieser **Tagung der Farbfernseh-Untergruppe des CCIR, London, Februar 1964,** wurde von der deutschen Verwaltung neben einem für die 625-Zeilen-Norm modifizierten NTSC-System erstmalig das PAL-Verfahren mit seinen Parametern vorgestellt; denn eine einheitliche Auffassung von Post, Industrie und Rundfunk über das zu wählende System bestand damals noch nicht. Damit standen die drei Verfahren NTSC, PAL und das SECAM-System, das von Frankreich vorgeschlagen und auch in sehr betonter Weise vertreten wurde, beim CCIR zur Diskussion. Als Grundlage in der Debatte um diese drei Verfahren — es waren etwa 25 Beiträge eingereicht worden — diente der „Erste Bericht“ der Farbfernseh-Ad-hoc-Gruppe der UER. Er faßte die Ergebnisse der vergleichenden Untersuchungen, die in 6 Ländern über eine Zeitspanne von 14 Monaten an etwa 25 verschiedenen Systemparametern von NTSC, SECAM und PAL durchgeführt worden waren, objektiv zusammen, ohne allerdings ein bestimmtes Verfahren als technisch beste Lösung empfehlen zu können [16]. Er wurde daher auch für die Ausarbeitung eines Arbeitsberichtes der Expertengruppe zugrunde gelegt. In diesem CCIR-Bericht wird einleitend mitgeteilt, daß das CCIR, aufbauend auf der Standardisierung von Zeilenzahl, Kanalabstand und Farbträger, für die weitere Normung die drei Farbsysteme NTSC, SECAM und PAL berücksichtigt. Außerdem wurde zu den in der CCIR-Farbfernsehfrage Nr. 118 aufgeführten Teilfragen (erreichbare Bildgüte, Kompatibilität, Preis des Farbfernsehempfängers, Empfindlichkeit gegenüber den verschiedenen Übertragungsverzerrungen usw.) unter Berücksichtigung der drei genannten Systeme Stellung genommen. Eine Entscheidung, welchem der drei zur Diskussion stehenden Verfahren der Vorzug zu geben sei, konnte nach 10tägiger Diskussion auch hier nicht ausgesprochen werden. Es wurden lediglich die Eigenschaften und Unterschiede der drei Systeme ohne Wertung und Rangordnung der einzelnen Parameter zusammengestellt [17].

Damals wurden auch zum ersten Mal die Verwaltungen gebeten, eine Reihe von Fragen zu beantworten, die sich auf die Systemwahl und den Termin der beabsichtigten Einführung eines regulären Farbfernsehdienstes bezogen. Von den 17 damals anwesenden Verwaltungen sprachen sich nur 6 Länder für ein bestimmtes System aus, und zwar Großbritannien, die Niederlande, Österreich und Dänemark für das NTSC-System, Norwegen und Schweden für das PAL-Verfahren. Weder die Bundesrepublik Deutschland noch Frankreich noch die UdSSR entschieden sich damals offiziell für ein bestimmtes System.

Das Ergebnis der Tagung dieser Untergruppe war der obengenannte Arbeitsbericht. Alle Teilnehmer waren sich darüber im Klaren, daß man noch ein Jahr für Untersuchungen und Betriebsversuche benötige, um sich endgültig für ein System entscheiden zu können. Diese Entscheidung müsse aber dann bei der Zwischentagung der Studiengruppe XI im April 1965 in Wien getroffen werden.

Es sei hier noch eingefügt, daß kurz vor der Londoner Tagung in der Farbfernseh-Ad-hoc-Gruppe der UER die Versuchsergebnisse einer neuen Systemvariante mitgeteilt wurden, die im Institut für Rundfunktechnik entwickelt und untersucht worden war. Dabei überlagert man dem abgehenden vollständigen NTSC-Signal abtrennbar eine Pilotschwingung sehr kleiner Amplitude, die dieselben pegelabhängigen Phasenverzerrungen erleidet wie das Farbfernsehsignal selbst. Im Empfänger wird dann das Referenzsignal vom Nutzsignal getrennt und als Bezug für die Phasenmodulation verwendet. Diese NTSC-Variante ist unter dem Namen ART (*A*dditional *R*eference *T*ransmission) bekannt geworden [18]. Abgesehen von einigen Nachteilen gegenüber dem PAL-Verfahren hat sie den Vorteil, daß auf der Empfangsseite auch ein normaler Empfänger verwendet werden könnte. Sie wurde jedoch weder von der UER noch von der deutschen Verwaltung bei der Londoner Tagung besonders herausgestellt, um die Vereinbarung einer einheitlichen europäischen Farbfernsehnorm nicht weiter zu erschweren.

Das bis zur Wiener Tagung verbleibende Jahr wurde dann im Rahmen der UER dazu benutzt, die Systemvergleiche fortzuführen, um zu einer einheitlichen Meinung zu kommen. Nun mußten im eigenen Land die Ansichten über das zu verwendende Farbfernsehsystem koordiniert werden. Durch Versuchssendungen und gemeinsame Untersuchungen bei Rundfunk, Post und Industrie in der Bundesrepublik Deutschland gelang es, bis zur Tagung in Wien sich auf das PAL-Verfahren zu einigen. Die Gründe dafür, daß die deutsche Industrie, die zuerst sehr stark das NTSC-System bevorzugte, sich später doch für das PAL-System entschied, lagen in der Erkenntnis, daß die in erster Line durch die Laufzeitkette entstehenden Mehrkosten von 2 bis 3 Prozent pro Empfänger durch die Vorteile mehr als kompensiert wurden. Diese Vorteile liegen, wie heute allgemein bekannt ist, im wesentlichen 1. in dem besseren Verhalten gegenüber den Ausbreitungseffekten, z. B. Reflexionen, 2. in der geringen Empfindlichkeit gegenüber linearen und nichtlinearen Phasenfehlern, 3. in der Unempfindlichkeit gegenüber Restseitenbandverzerrungen im Chrominanzkanal (Bandbeschneidung am oberen Bandende) und 4. in der automatisch durch das PAL-Prinzip gegebenen richtigen Farbtonwiedergabe im Empfänger.

Diese technischen Gründe wurden in einer Stellungnahme der deutschen Verwaltung für die bevorstehende Tagung der XI. Studienkommission in Wien zusammengefaßt. Dabei wurde darauf hingewiesen, daß das PAL-Verfahren als optimaler Kompromiß zwischen NTSC- und SECAM-System anzusehen sei, der die Vorteile beider Verfahren miteinander vereinigt.

Leider kam man im Rahmen der UER nicht zu einer einheitlichen Auffassung. Die Untersuchungen, die in den sechs Untergruppen mit verstärkter Intensität weitergeführt wurden — es fanden bis dahin 9 Tagungen der Ad-hoc-Gruppe und etwa ebenso viele Zusammenkünfte jeder der 6 Untergruppen statt — hatten zum Ergebnis, daß sich Italien, die Schweiz und die Bundesrepublik Deutschland für PAL, England und Holland für NTSC und Frankreich für SECAM aussprachen. Der Grund hierfür dürfte darin liegen, daß es nicht möglich war, den 25 untersuchten Parametern eine Wertigkeit zu geben. Die verschiedenen Organisationen maßen den einzelnen untersuchten Systemeigenschaften, wie der Kompatibilität, der Empfindlichkeit gegenüber Übertragungsverzerrungen, dem Verhalten bei magnetischer Bildaufzeichnung, den Ausbreitungseffekten usw., unterschiedliche Bedeutung zu, so daß trotz der Objektivität und der Fairneß, mit denen die Untersuchungen durchgeführt wurden, keine einheitliche Gesamtwertung und damit keine einstimmige technische Empfehlung zustande kam. Dieser Tatbestand kam auch im „Zweiten Bericht" der Farbfernseh-Ad-hoc-Gruppe zum Ausdruck, der dem CCIR als UER-Beitrag für die **Tagung der Studienkommission XI in Wien** vorgelegt wurde [19].

Nach der harten Arbeit der letzten 3 Jahre und den erzielten Ergebnissen, die im Laufe dieser Zeit in den interessierten Ländern gewonnen waren, ging man technisch wohlgerüstet und gut vorbereitet im März 1965 nach Wien. Dennoch sahen die Fachleute dieser Tagung, je näher sie heranrückte, mit wachsender Unruhe entgegen.

Im Gegensatz zu früheren Gepflogenheiten waren diese rein technischen Fragen, die früher nur im Kreise von Fachleuten erörtert wurden, durch die Tagespresse an die Öffentlichkeit gezogen und zum Teil mit stark politischen Akzenten heftig diskutiert worden. Was man befürchtete, — daß nämlich diese politischen Gesichtspunkte auch bei der Arbeit des CCIR eine Rolle spielen könnten —, trat in verstärktem Maße ein, als zwei Tage vor Beginn der Wiener Konferenz bekannt wurde, daß Frankreich und die UdSSR einen Vertrag über die zukünftige Zusammenarbeit auf dem Gebiet des Farbfernsehens mit dem SECAM-System als Grundlage abgeschlossen hatten. Dadurch war praktisch das Ergebnis der technischen Diskussionen durch eine politische Entscheidung vorweggenommen, und es war klar, welche Meinung insbesondere die osteuropäischen Verwaltungen und die von Frankreich beeinflußten Länder und Organisationen vertreten würden. Da nur wenig Flexibilität bestand, wurden die Diskussionen nicht immer mit der sonst beim CCIR gewohnten technischen Sachlichkeit geführt. Eine vieltägige Diskussion der vorgelegten Beiträge — etwa 35 Dokumente beschäftigten sich allein mit der Farbfernsehsystemfrage —, die durch technische Argumentationen das beste System herausfinden sollte, verlief ergebnislos.

Um einen Überblick über die Meinung der Verwaltungen zu erhalten, wurde eine Umfrage veranstaltet, die klären sollte, welches Farbfernsehsystem — NTSC, PAL oder SECAM — von den Verwaltungen bevorzugt würde, und wann man die Absicht habe, einen offiziellen Farbfernsehdienst einzuführen. Sie hatte das Ergebnis, daß sich von den 30 vertretenen europäischen Verwaltungen 14 für SECAM, 11 für PAL und 2 für NTSC entschieden. Drei Länder, nämlich Jugoslawien, Belgien und die Türkei, gaben keine Entscheidung ab. Es sollte hier vielleicht noch bemerkt werden, daß es sich bei derartigen Umfragen im CCIR nur um eine Meinungsforschung, aber niemals um eine Abstimmung mit dem Ziel eines Mehrheitbeschlusses handeln konnte. Man kann nun solche Meinungsumfragen nach verschiedenen Gesichtspunkten auslegen: 1. rein nach der Stimmenzahl, wie oben angegeben, 2. nach dem Gewicht, das ein Land aufgrund seiner Fernsehteilnehmerzahl darstellt, und 3. in Form einer Landkarte, aus der die geographische Verteilung der Farbfernsehsysteme hervorgeht. Im Bild 11 sind die Fälle 1. und 2. dargestellt. Man erkennt, daß zwischen beiden Auffassungen ein beträchtlicher Unterschied besteht. Im Fall 1. zeigt sich eine klare Mehrheit für das SECAM-System und im Fall 2. ein starkes Übergewicht für die PAL/NTSC-Gruppe, wobei sich PAL und SECAM etwa die Waage halten. Bild 12 gibt die geo-

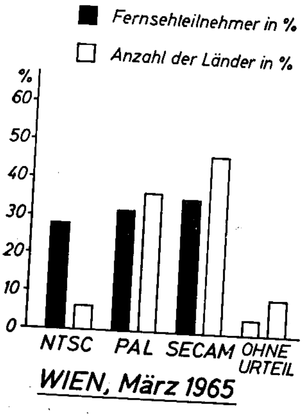


Bild 11.
Prozentuale Aufteilung der Farbfernsehsysteme in Europa, Wien 1965

graphische Verteilung der drei Farbfernsehsysteme in Europa wieder und läßt Rückschlüsse auf die zu erwartenden Schwierigkeiten im europäischen Programmaustausch von Farbfernsehsendungen und auf die wirtschaftspolitische Konstellation zu.

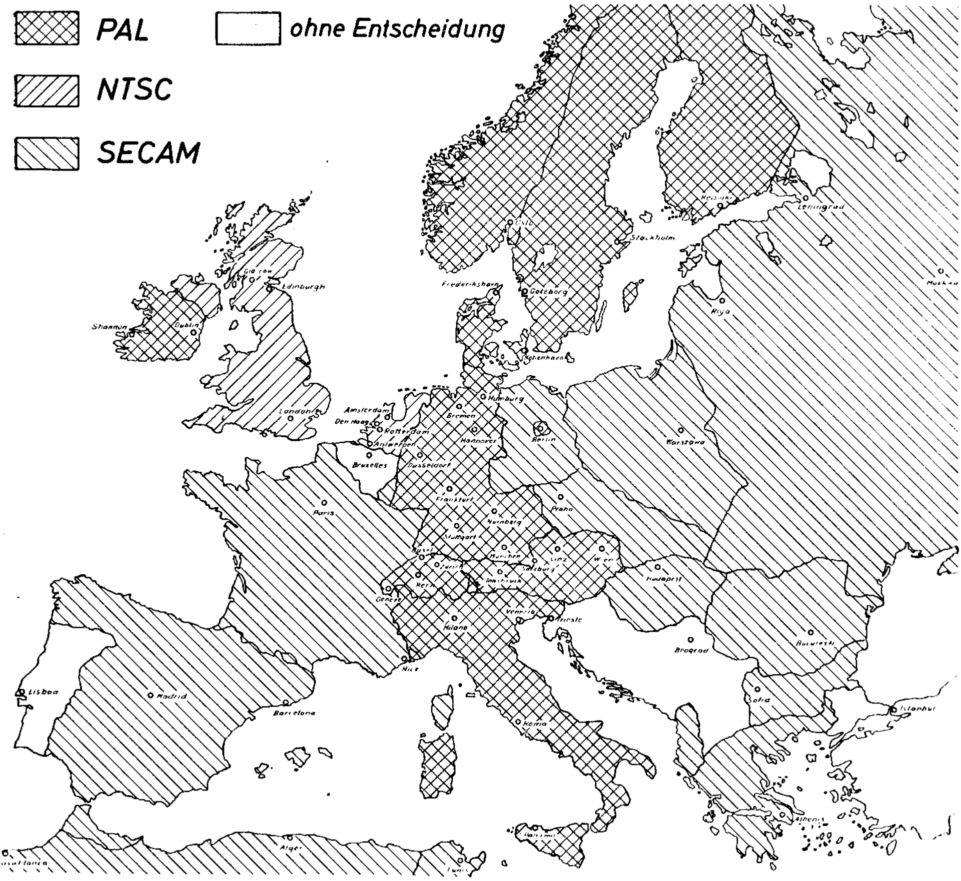


Bild 12. Geographische Verteilung der Farbfernsehsysteme in Europa, Wien 1965

Das Ergebnis der Zwischentagung der XI. Studienkommission in Wien bestand wiederum nur in einem Bericht, in dem, wie seinerzeit in London, die Eigenschaften der drei zur Diskussion gestellten Systeme gegenübergestellt wurden, ohne eine Wertung vorzunehmen oder gar einem bestimmten System den Vorzug zu geben [20]. Man ging auseinander, ohne der Vollversammlung, die für Juni/Juli 1966 in Oslo vorgesehen war, einen Empfehlungsentwurf für ein einheitliches Fernsehsystem in Europa vorlegen zu können. Die drei Farbfernsehsysteme NTSC, PAL und SECAM standen also weiterhin zur Diskussion. Da nicht nur rein technische Argumente, sondern auch politische Bindungen in der Farbfernsehsystem-Frage eine Rolle spiellen, war allen Fachleuten klar, daß auch in Oslo kaum mit einer Einigung auf ein einheitliches europäisches Farbfernsehsystem zu rechnen sei, wenn sich in der politischen Lage oder in der technischen Entwicklung nicht etwas Außergewöhnliches ereignen würde. Man ging allerdings in der Hoffnung auseinander, daß sich die Zahl der Verfahren von 3 auf 2 im Laufe des kommenden Jahres vermindern könnte.

Die Zeit zwischen den Tagungen in Wien und Oslo wurde dazu verwendet, die vergleichenden Untersuchungen und Versuchssendungen mit NTSC und PAL insbesondere in den Ländern, die sich bisher für NTSC ausgesprochen hatten, fortzuführen. Von verschiedenen europäischen Ländern, wie Italien, England und Holland, wurden in der UER zusätzlich Vorschläge gemacht, um das PAL-Verfahren zu verbessern und eine international gültige PAL-Norm zu schaffen. So wurde z. B. ein Farbsynchronsignal (Burst), das von Zeile zu Zeile seine Phasenlage um 90 ° wechselt, eingeführt. Durch diesen „alternierenden Burst" war es möglich, das Synchronisierschema des PAL-Verfahrens durch Fortlassung der bis dahin nötigen Zeilenkennimpulse zu vereinfachen.

Ende 1965 sprach sich auch Großbritannien offiziell für die Annahme des PAL-Systems aus, da man auch hier erkannt hatte, daß das PAL-Verfahren als ein verbessertes NTSC-System angesehen werden kann und seine Vorteile den geringen Mehrpreis des PAL-Empfängers rechtfertigen. Dazu kam, im Hinblick auf den europäischen Programmaustausch, der dringende Wunsch, einem einheitlichen europäischen Farbfernsehsystem näherzukommen. Dasselbe dürfte in ähnlicher Weise auch für die Niederlande gelten, wo sich die Firma Philips nunmehr für das PAL-System einsetzte. Die Situation innerhalb der UER-Ad-hoc-Gruppe für Farbfernsehen war auf ihrer elften und letzten Tagung im Februar 1966 dadurch gekennzeichnet, daß sich von den sechs vertretenen Ländern, die sich intensiv mit Farbfernsehsystemuntersuchungen beschäftigt haben, fünf für das PAL-System und nur Frankreich allein für das SECAM-System aussprachen. Es zeichnete sich damit immer klarer ab, wie das Resultat der Osloer Konferenz in der Farbfernsehsystemfrage ausfallen würde, daß sich nämlich die Anzahl der drei Verfahren für Europa auf zwei reduzieren würde.

Mit Spannung und Interesse nahm man daher zur Kenntnis, daß gegen Ende des Jahres 1965 sowohl in der Literatur als auch inoffiziell in der Ad-hoc-Gruppe der UER von einem neuen Verfahren gesprochen wurde. Es beruhe auf einem russischen Vorschlag, sei jedoch bei der BBC in England schon 1963 entdeckt worden [21] und befinde sich bei der ORTF in Frankreich im Stadium der Untersuchung. Dieses System, das teils als NIIR (russisch) und teils als SECAM IV bezeichnet wurde, ist dem PAL-Verfahren sehr ähnlich. Es wurde als Kompromiß zwischen dem PAL-System und dem bestehenden SECAM III-System dargestellt, obwohl es mehr ein Kompromiß zwischen PAL und NTSC war.

Wenn auch weder von Frankreich noch über die UER Einzelheiten über die Systemparameter zu erfahren waren und lediglich das Prinzip bekannt war, wurden dennoch an verschiedenen anderen Stellen in Westeuropa, z. B. in den Forschungsinstituten der BBC in England und des FTZ in Darmstadt, Untersuchungen durchgeführt, um wenigstens einen Überblick über die wichtigsten diesem System inhärenten Eigenschaften zu bekommen. Es war nämlich bekannt, daß zu jener Zeit Verhandlungen zwischen sowjetischen und französischen Ingenieuren über die verschiedenen SECAM-Versionen im Gange waren, und es war noch keineswegs klar, für welche Version man sich entscheiden würde. Die um die Jahreswende in den Laboratorien herrschende Geschäftigkeit in der Untersuchung des SECAM IV-Prinzips ließ nach, als von der französischen Delegation im April bei der Tagung der technischen Kommission der UER offiziell mitgeteilt wurde, daß Frankreich und die Sowjetunion sich nunmehr für das SECAM III-System entschieden hätten und dieses auch auf der XI. Vollversammlung in Oslo vertreten würden. Schon bei den in Rom Anfang Mai 1966 von der UER veranstalteten Farbfernsehvorführungen wurden nur mehr die Systeme SECAM III und PAL miteinander verglichen. Es war also nicht anzunehmen, daß das SECAM IV-System als viertes Verfahren beim CCIR zur Diskussion gestellt würde.

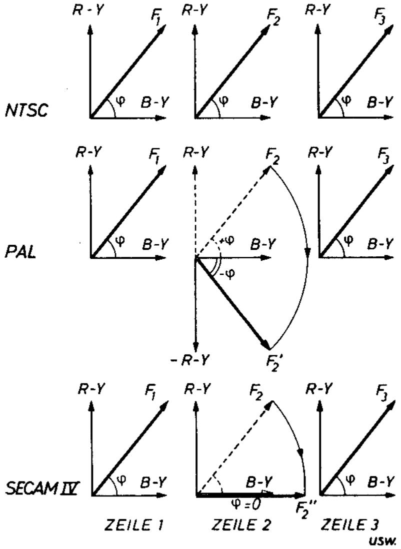


Bild 13. Prinzip des SECAM IV-Verfahrens im Vergleich zu NTSC und PAL

Dennoch sollen hier, ebenso wie bei den anderen Verfahren, das Prinzip kurz erläutert und die wesentlichsten Versuchergebnisse mitgeteilt werden. Die SECAM IV-Variante verwendet dieselben Modulationsprinzipien wie das NTSC- und PAL-Verfahren, nämlich das Prinzip der Quadratur-Amplituden-Modulation. Während aber beim NTSC-System in jeder Zeile der Farbvektor F (Bild 13) und bei der PAL-Variante zeilenweise abwechselnd der Farbvektor F bzw. der spiegelsymmetrische Farbvektor F′ übertragen wird, wird beim SECAM IV-Verfahren zeilenweise abwechselnd der Farbvektor F und ein Farbvektor F′′ gesendet, der aber diesmal mit der (B-Y)-Richtung zusammenfällt und als Vektor für die Referenzphase Null dient. Er überträgt damit nur die Farbsättigung, aber nicht den Farbton. Auf der Empfangsseite wird dann mit Hilfe einer Verzögerungsleitung die Gleichzeitigkeit und damit der Bezug zwischen dem Nullphasenwinkel und dem Farbvektor – allerdings mit einer Ungenauigkeit von einer Zeile hergestellt. Die Vor- und Nachteile dieses Systems liegen auf der

Hand. Es hat zwar in Bezug auf die Unempfindlichkeit gegenüber linearen und nichtlinearen Phasenfehlern die gleichen Vorteile wie das PAL-Verfahren, bei Reflexionen und den durch unsymmetrische Bandbeschneidung des Chrominanz-Kanals hervorgerufenen Effekten (farbige Ränder) ist es diesem jedoch eindeutig unterlegen. Dasselbe gilt für sinusförmige Störungen. Orientierende Untersuchungen, die in den Forschungslaboratorien von Post, Rundfunk und Industrie durchgeführt wurden, haben diesen Tatbestand klar bestätigt [22].

Bei Beginn der **XI. CCIR-Vollversammlung, Oslo, Juni/Juli 1966,** standen, wie in Wien, nur die drei Farbfernsehsysteme NTSC, PAL und SECAM III zur Diskussion. Im Gegensatz zur Zwischentagung in Wien lagen nur wenige Dokumente zur Farbfernsehsystemfrage vor. Dabei ist der Beitrag der UER wieder besonders zu erwähnen, der die im Rahmen der Ad-hoc-Gruppe erarbeiteten Beiträge als Ergänzung zum „Zweiten Bericht", Wien, präsentierte. Besonders zu erwähnen ist in diesem Zusammenhang die nunmehr von den beteiligten Ländern international festgelegte PAL-Norm [23]. Das SECAM III-System, das bisher als SECAM IIIb bekannt war, war in der Zwischenzeit in einigen Parametern etwas verändert worden und wurde als „SECAM III optimalisé" vorgestellt.

Da man sich im Laufe der Diskussion auf keines dieser 3 Verfahren einigen konnte, wurde von Belgien vorgeschlagen, SECAM IV, das schon seit einiger Zeit die Gemüter bewegte, bei der Farbfernsehsystemwahl mitzuberücksichtigen. Dieser Antrag Belgiens wurde vor allem von einer Anzahl kleinerer Länder befürwortet, die sich selbst zwar nicht an Systemuntersuchungen beteiligt hatten, aber in einem SECAM IV-Kompromiß die einzige noch bestehende Möglichkeit für ein einheitliches europäisches System sahen. Da das SECAM IV-System international noch nicht zur Diskussion angemeldet war, wurde von Frankreich und der UdSSR ein Gemeinschaftsbeitrag über die Parameter und vorläufigen Untersuchungsergebnisse des SECAM IV-Systems eingereicht. In diesem Dokument wird einleitend darauf hingewiesen, daß es sich um ein noch nicht ausgereiftes System handelt, mit dem es nicht möglich ist, bereits im Herbst 1967 einen Farbfernsehdienst zu beginnen. Eine technische Diskussion des SECAM IV-Systems konnte nicht stattfinden, weil es den meisten Delegierten technisch nicht genügend bekannt war. Damit schien SECAM IV von der Tagesordnung abgesetzt zu sein. Um festzustellen, ob und wie sich die Situation gegenüber Wien geändert hatte, wurde wieder ein Fragebogen herausgegeben, in dem das von den 3 zur Debatte stehenden Systemen und der beabsichtigte Einführungstermin für das Farbfernsehen anzugeben war. Das Ergebnis der Umfrage ist, um einen Vergleich mit dem Ergebnis der Wiener Tagung zu ermöglichen, in derselben Weise wie das von Wien (Bild 11) dargestellt in Bild 14. Generell muß man dabei die Feststellung machen, daß sich durch die Aufgabe des NTSC-Systems in Europa das Gewicht stark zugunsten von PAL verschoben hat. Im einzelnen läßt sich das Ergebnis der Umfrage, sofern Europa betroffen ist, etwa folgendermaßen formulieren:

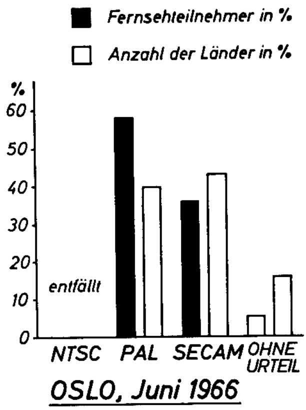


Bild 14.
Prozentuale Aufteilung der Farbfernsehsysteme in Europa, Oslo 1966

1. Es gibt in Europa nur noch 2 Farbfernsehsysteme, PAL und SECAM III.
2. Während sich gegenüber Wien nunmehr PAL und SECAM bereits stimmenmäßig mit 12 zu 13 etwa die Waage halten, entschieden sich — gewichtsmäßig betrachtet — 59 % für PAL und nur 36 % der Fernsehteilnehmer für SECAM.
3. Es gibt nach Olso mehr Länder ohne Urteil als nach Wien, was auf eine größere Unsicherheit schließen läßt. Es handelt sich hier in erster Linie um Länder, die vorerst noch keinen Farbfernsehdienst einführen wollen. Sie möchten abwarten, welches Verfahren sich in der Zukunft technisch am besten bewährt und wie sich die Dinge wirtschaftlich und politisch entwickeln.

In Bild 15 ist die geographische Verteilung der Systeme in Europa nach der Konferenz von Oslo dargestellt. Im Vergleich zur Zwischentagung in Wien (Bild 12) fällt auf, daß Spanien und Luxemburg, die in Wien noch für SECAM eingetreten waren, sich in Oslo der Stimme enthalten haben. Umgekehrt liegen die Verhältnisse bei Jugoslawien. Österreich hat sich im Gegensatz zu Wien dieses Mal der Stimme enthalten und die gestellten Fragen nicht beantwortet. Die UdSSR mit der Ukraine und Weißrußland, Frankreich mit Monaco, Großbritannien und die Bundesrepublik Deutschland haben die Absicht, mit dem Farbfernsehen noch 1967 zu beginnen. Spanien nannte als Termin Ende 1967/Anfang 1968, während sich Polen entschlossen hat, noch 1967 mit Versuchssendungen zu beginnen und dann in den Jahren 1968 bis 1969 auf einen regelmäßigen Farbfernsehdienst überzugehen. Die Niederlande haben kein festes Datum angegeben, sondern lediglich mitgeteilt, daß ein Farbfernsehdienst in der Zeitspanne zwischen November 1967 und 1970 eingeführt werden soll. Alle anderen europäischen Länder werden nicht vor 1968 und ein großer Teil nicht vor 1970 mit regulären Farbfernsehsendungen beginnen.

Nachdem man in der Studiengruppe übereinstimmend festgestellt hatte, daß man weder weltweit noch für Europa zu einer Empfehlung eines einzigen Farbfernsehsystems kommen konnte, wurde in einer Unter-Arbeitsgruppe, die damit beauftragt war, einen gemeinsamen Bericht über die erreichten Ergebnisse zu erarbeiten, völlig unerwartet von der französischen Delegation der Vorschlag gemacht, das SECAM IV-System zur Grundlage eines einheitlichen europäischen Farbfernsehsystems zu machen. Dieser Vorschlag war allerdings an zwei Bedingungen gebunden:

1. Da das SECAM IV-System noch eingehender Untersuchungen bedarf, bevor man mit ihm einen Farbfernsehdienst beginnen kann,

wäre eine Verschiebung des Einführungstermins für das Farbfernsehen von mindestens 6 Monaten vor allem in den Ländern erforderlich, die im Herbst 1967 mit einem regulären Farbfernsehdienst anfangen wollen. Außerdem sollte mit diesem Aufschub ein industrielles Moratorium für die Empfängerindustrie verbunden sein; d. h., alle Länder sollten sich verpflichten, „von allen Maßnahmen abzusehen, die — besonders bezüglich der Empfängerherstellung — direkt oder indirekt der gemeinsamen Arbeit entgegen wirken könnten“ [24].

2. Die definitive Zustimmung zu der obengenannten Bedingung sollte sofort, in jedem Fall aber noch vor dem Ende der Vollversammlung erfolgen.

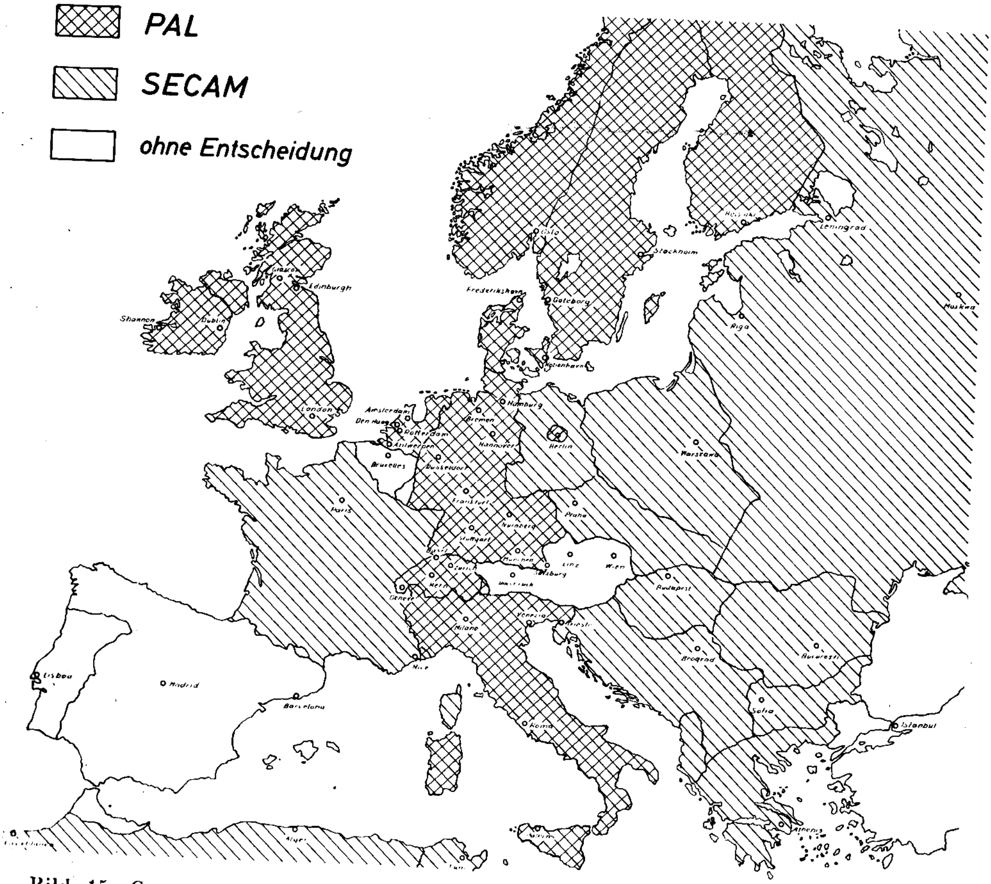

PAL
SECAM
ohne Entscheidung
Shannon
Dublin
Glasgow
Edinburgh
London
Oslo
Stockholm
Helsinki
Leningrad
Moskwa
Riga
Frederikshavn
Göteborg
København
Amsterdam
Den Haag
Rotterdam
Antwerpen
Bruxelles
Düsseldorf
Hamburg
Bremen
Hannover
Berlin
Warszawa
Paris
Frankfurt
Nürnberg
Stuttgart
Praha
Basel
Zürich
München
Linz
Wien
Salzburg
Innsbruck
Bern
Genève
Budapest
Milano
Venezia
Trieste
Nice
Beograd
Bucuresti
Sofia
Istanbul
Lisboa
Madrid
Barcelona
Roma
Alger
Athenes

Bild 15. Geographische Verteilung der Farbfernsehsysteme in Europa, Oslo 1966

Die britische und deutsche Delegation stellten darauf in Übereinstimmung mit dem Vorsitzenden fest, daß es sich hier um eine politische Frage handele, die mit Sicherheit außerhalb des Bereiches des CCIR liege. Außerdem machten beide Delegationen darauf aufmerksam, daß es unmöglich sei, bestehende Regierungsentscheidungen in so kurzer Zeit rückgängig zu machen. Der Vertreter Frankreichs zog daraufhin seinen Vorschlag zurück. Ein Vorschlag des Vorsitzenden, das SECAM IV-System im Rahmen des CCIR ohne die genannten Randbedingungen zu untersuchen, wurde von Frankreich und der UdSSR abgelehnt. Von französischer Seite wurde mitgeteilt, daß für Frankreich nur das System SECAM III-optimalisé in Frage komme.

Das Ergebnis der Osloer Tagung besteht also darin, daß die Zahl der zuletzt diskutierten Systemvarianten für Europa von 3 auf 2 reduziert werden konnte. Eine Empfehlung für ein einheitliches System konnte nicht ausgesprochen werden. Es wurde daher ein Bericht herausgegeben, in dem — ähnlich dem Bericht über die Schwarzweiß-Fernsehnormen — die in Betracht gezogenen Farbfernsehsysteme mit ihren Parametern aufgeführt sind. Dabei handelt es sich um die Systeme NTSC, PAL, SECAM III-optimalisé und SECAM IV für die verschiedenen 525- und 625-Zeilen-Normen, soweit offizielle CCIR-Dokumente darüber vorliegen [25]. Außerdem soll noch der Bericht genannt werden, der die Ergebnisse der im Rahmen des CCIR bzw. der UER durchgeführten vergleichenden Untersuchungen über die verschiedenen Parameter der Systeme NTSC, SECAM und PAL zusammenfaßt [26].

VI. Schlußbetrachtung und Ausblick

Wenn man das Ergebnis der im Rahmen der internationalen Zusammenarbeit angestellten Bemühungen auf dem Gebiet des Farbfernsehens allgemein betrachten will, muß man den Begriff „Farbfernsehnorm“ weiter fassen, als es im allgemeinen geschieht. Man muß daran denken, daß die Frage nach einem einheitlichen Farbfernsehsystem nur eine Teilfrage des Gesamtkomplexes „Farbfernsehnorm“ bedeutet. Hier kann man zusammenfassend sagen, daß jedenfalls für Europa einiges erreicht worden ist. In den für den europäischen Programmaustausch und die internationale Senderplanung wichtigsten Parametern konnte nämlich bereits 1961 auf der Europäischen Rundfunkkonferenz in Stockholm Einigkeit erzielt werden. Danach gibt es in Europa für das Farbfernsehen — und in den Bereichen IV und V auch für das Schwarzweiß-Fernsehen — nur noch 625-Zeilen-Normen mit einem einheitlichen HF-Kanalraster von 8 MHz und einem gemeinsamen Farbträger von 4,43 MHz. Diese Tatsache wird im allgemeinen nicht hoch genug eingeschätzt, zumal es sich bei solchen Normänderungen nicht nur um die Lösung eines rein technischen Problems, sondern um wirtschaftspolitische Entscheidungen handelt, die sich auf die Rundfunkstruktur der davon betroffenen Länder und ihre Fernsehteilnehmer auswirken. Dennoch wurden diese Schwierigkeiten in vorbildlicher Weise auf technischer Ebene gelöst, ohne die Diskussionen um die technischen Erfordernisse durch politische Akzente zu belasten.

Leider gilt dasselbe nicht für die Bemühungen um ein einheitliches Farbfernsehsystem, obwohl Gründe zur Politisierung dieses Themas eigentlich nicht vorlagen. Immerhin konnte man sich auf dieselben Grundprinzipien für ein kompatibles Farbfernsehen einigen, so daß die verschiedenen Farbfernsehverfahren als Varianten des gleichen Systems angesehen werden können, die sich lediglich in der Modulationsart der Farbinformation unterscheiden.

Daraus ergibt sich für den europäischen Programmaustausch, daß Normwandler nicht mehr erforderlich sind. Es können nunmehr die weit einfacheren Möglichkeiten der Transkodierung von einer Systemvariante in die andere Verwendung finden. Das Problem der Transkodierung ist deshalb einfacher zu lösen als das einer Normwandlung von Bildern unterschiedlicher Zeilenzahl, weil lediglich die Farbinformation am oberen Bandende des Kanals von einem Modulationsverfahren in das andere übergeführt werden muß, während das Schwarzweiß-Bild beibehalten werden kann. Dabei liegt es im Prinzip der Modulationsart, daß eine Transkodierung von PAL nach SECAM III sich leichter durchführen läßt als eine solche von SECAM nach PAL. Bei jeder Transkodierung wird zwar ein gewisser Qualitätsverlust auftreten, der aber bei guter technischer Ausführung so klein gehalten werden kann, daß er vom Fernsehteilnehmer auf dem Bildschirm des Heimempfängers kaum wahrgenommen werden wird. Dennoch sollten aber mehrere Transkodierungen hintereinander möglichst vermieden werden.

Was die Konvertierung eines amerikanischen NTSC-Bildes in ein europäisches PAL-Bild anbelangt, soll nur gesagt werden, daß die Normwandlung eines 525-Zeilen-Bildes mit 60 Teilbildern in ein Bild der 625-Zeilen-Norm mit 50 Teilbildern einen derartigen Aufwand erfordert, daß die zusätzliche Transkodierung des NTSC- in das PAL-Signal wegen der gleichen Modulationsart der Farbinformation kaum ins Gewicht fällt.

Die nächstliegende technische Aufgabe für die betroffenen Länder und die zuständigen internationalen Gremien wird also darin bestehen, die Bedingungen im einzelnen festzulegen, die eine einwandfreie Transkodierung in der technischen Ausführung und im Übertragungsbetrieb gewährleisten. Dasselbe gilt angesichts der Tatsache, daß man die Absicht hat, von der Olympiade in Mexiko 1968 bereits farbige Bilder nach Europa zu übertragen, für die Normwandlung von Farbfernsehbildern des amerikanischen Standards in solche der europäischen Norm.

Während sich die Probleme des europäischen Programmaustausches durch die Normung der Zeilenzahl wesentlich vereinfacht haben, liegen die Verhältnisse beim direkten Empfang abgestrahlter Sendungen anderer Normen, z. B. der des Nachbarlandes, wegen der Unterschiede in den HF-Normen komplizierter. Es gibt in Europa zur Zeit, wenn man von der unterschiedlichen Breite des Restseitenbandes und damit der Nyquistflanke absieht, für das Farbfernsehen vier verschiedene HF-Normen mit 625 Zeilen, nämlich: 2 PAL-Normen, die nur im Bild-Tonträger-Abstand, 5,5 bzw. 6,0 MHz, voneinander abweichen, und 2 SECAM-Normen, die zwar den gleichen Bild-Tonträger-Abstand von 6,5 MHz besitzen, sich aber in der Modulationsart von Bild und Ton unterscheiden. Im ersten Fall handelt es sich um die Länder der Standards B, G und H mit dem Bild-Tonträger-Abstand von 5,5 MHz, den auch die bisher noch unentschiedenen Länder Belgien, Österreich, Portugal und Spanien haben, sowie die des Standards J, d. h., im wesentlichen Großbritannien mit dem Bild-Tonträger-Abstand von 6 MHz. Zur zweiten Gruppe gehören die OIRT-Länder (Standard D und K), die mit den PAL-Ländern die Modulationsart von Bild und Ton gemeinsam haben, sowie Frankreich, dessen Standard L wegen seiner positiven Bildmodulation und Amplitudenmodulation für den Ton mit der Norm keines anderen Landes übereinstimmt.

Diese Unterschiede in der Modulationsart der französischen Norm L gegenüber allen anderen Normen — der unterschiedliche Bild-Tonträger-Abstand ist das weit kleinere Hindernis — wirken sich auf die Nachbarländer Frankreichs dahingehend aus, daß man dort, selbst wenn man dasselbe Farbfernsehsystem wie Frankreich übernommen hätte, nicht in der Lage wäre, mit einem Heimempfänger die französischen Sendungen direkt zu empfangen; und zwar trifft dies nicht nur für das Farbbild, sondern auch für das kompatible Schwarzweiß-Bild zu. Alle anderen europäischen Normen dagegen ermöglichen, unabhängig davon, ob sie für die Übertragung der Farbinformation das PAL- oder SECAM-Verfahren verwenden, dank der gemeinsamen 625-Zeilen-Definition und des gleichen HF-Kanalrasters den gegenseitigen direkten Empfang des kompatiblen Schwarzweiß-Bildes, wenn man — falls erforderlich — im Empfänger die relativ einfache Umschaltung zwischen zwei verschiedenen Tonträgern vorsieht.

Zur Zeit ist die Frage des direkten Empfangs ausländischer Fernsehsendungen — abgesehen von kleineren Ländern, die auf die Direktsendungen ihrer Nachbarländer angewiesen sind — noch nicht so aktuell wie die des internationalen Programmaustausches. Ein Direktempfang ist nämlich wegen der beschränkten Reichweite der Sender im allgemeinen nur in der Nähe der Landesgrenzen möglich, so daß sich etwaige Unterschiede in den HF-Normen nur in diesen Grenzgebieten auswirken. Anders liegen die Verhältnisse bei einem zukünftigen Satelliten-Rundfunk, da hier im Direktempfang, wie bei der Eurovision und Intervision, ganze Ländergruppen oder bei einem weltweiten Programm sogar verschiedene Kontinente zusammengeschlossen sind. Wenn man die Entwicklung von Mehrnormen-Empfängern nur als Übergangslösung betrachtet, müssen daher die internationalen Bemühungen fortgesetzt werden, um die noch bestehenden Unterschiede in den Fernsehnormen des abgestrahlten Signals weiterhin abzubauen. Entsprechende Studienfragen und -programme liegen bei den zuständigen Studienkommissionen des CCIR bereits vor.

VII. Schrifttum

1. Frage 118 und Studienprogramme 118 A und B (Colour Television Standards). CCIR-Documents of the X. Plenary Assembly, Genf, 1963, Bd. 5, S. 221.
2. F. Kirschstein, J. Müller, K. O. Schmidt: Die Bemühungen des CCIR um eine europäische Norm für das farbige Fernsehen. NTZ, 10 (1957), S. 20—27.
3. J. Müller: Über die nichtlinearen Verzerrungen von Fernsehleitungen. AEÜ, Bd. 11 (1957), S. 485—494.
4. F. Jaeschke: Zur Dimensionierung des Farbträgers in einem europäischen Farbfernsehsystem nach dem NTSC-Verfahren. Techn. Hausmitteilungen NWDR, 7 (1955), S. 224—228.
5. F. Below und E. Schwartz: Zur Lage des Farbträgers im Falle einer Übertragung des NTSC-Verfahrens auf die CCIR-Norm mit 625 Zeilen. Techn. Hausmitteilungen NWDR, 7 (1955), S. 229—232.
6. E. Schwartz: Die Analogiefrequenz für den Farbhilfsträger bei einer Übernahme des NTSC-Verfahrens in die CCIR-Norm mit 625 Zeilen. Rundfunktechn. Mitteilungen, 1 (1957), S. 191—195.
7. R. Theile: Die Entwicklung der kompatiblen Farbfernsehtechnik. Rundfunktechn. Mitteilungen, 9 (1965), S. 241—250.
8. H. de France: Le système télévision en couleur sequentiel simultané. L'Onde Electrique, 38 (1958), S. 479—483.
9. F. Jaeschke: Über den Einfluß von nichtlinearen Übertragungsfehlern bei Farbfernsehübertragungen nach dem Henri de France-System. Techn. Bericht des FTZ, Nr. 5302 vom 28. 1. 1960.
10. P. Cassagne: Neuere Verbesserungen beim SECAM-Farbfernsehsystem. Radio Mentor, 28 (1962), S. 833—834.
11. N. Mayer: Farbfernsehübertragung mit gleichzeitiger Frequenz- und Amplitudenmodulation des Farbträgers (FAM-Verfahren). Rundfunktechn. Mitteilungen, 4 (1960), S. 238—252.
12. K. Bernath, F. Cappuccini, J. Müller: Farbfernseh-Versuchsübertragungen zwischen Darmstadt, Bern und Rom. NTZ, 15 (1962), S. 161—166.
13. W. Bruch: Some experiments with modifications of the NTSC-Colour television system. Vortrag, gehalten auf dem 2. internationalen Fernseh-Symposium in Montreux; veröffentlicht im Tagungsbericht unter LTVS-41, S. 223—228.
14. W. Bruch: Das PAL-Farbfernsehsystem. Prinzipielle Grundlagen der Modulation und Demodulation. NTZ, 17 (1964), S. 109—121.
15. B. D. Loughlin: Recent improvements in band shared simultaneous colour television systems. Proc. Inst. Rad. Engrs., 39 (1951), S. 1273—1279.
16. Report of the EBU Ad-hoc-Group on Colour Television, Dezember 1963 (CCIR-Doc. 7/London, 1964).
17. Report of Colour-Sub-Group. CCIR-Doc. 33, London, 1964.
18. N. Mayer, G. Holoch: NTSC-Farbfernsehübertragung mit additivem Referenzträger. Rundfunktechn. Mitteilungen, 9 (1965), S. 157—165.
19. Report of the EBU Ad-hoc-Group on Colour Television, Februar 1965, 2nd Edition (CCIR-Doc. XI/33, Wien).
20. Conclusions of the Interim Meeting of Study Group XI, Wien 1965; Report E.4.J. XI. Colour Television.
21. Wireless World, S. 73—76, Febr. 1966.
22. H. Wendt: Untersuchungen an dem Farbfernsehsystem SECAM IV. Techn. Bericht des FTZ, Nr. 5113.
23. Specifications of the PAL-System, June 1966, CCIR-Doc. XI/174, Oslo, 1966.
24. Report by Sub-Group XI. A 2. CCIR-Doc. XI/214, Oslo, 1966.
25. Report: Characteristics of Colour Television Systems, CCIR-Doc. XI/1024, Oslo, 1966.
26. Report: Colour Television, CCIR-Doc. XI/1003, Oslo, 1966.

Ernst Dietrich

Die Anfänge der kommerziellen Nutzung von Fernmeldesatelliten *)

I. Einleitung
II. Die wichtigsten technischen Eigenschaften der Raistinger Breitbandanlage
III. Das Internationale Fernmeldesatelliten-Konsortium (Intelsat) und seine Aufgaben
IV. Versuchs- und Betriebsphase mit Intelsat I
  1. Die charakteristischen technischen Eigenschaften von Intelsat I
  2. Startphase, Umlaufbahn und Bahnverfolgung bei Intelsat I
  3. Übertragungseigenschaften von Intelsat I
  4. Europäische Zusammenarbeit beim Betrieb über Intelsat I
  5. Betriebserfahrungen und Zuverlässigkeit der Verbindungen über Intelsat I
  6. Ergebnis der Laufzeituntersuchungen
V. Satellitenstromkreise für Apollo-Projekt der NASA über Intelsat II
VI. Der Stand der Vorbereitungen für das im Jahre 1968 zu erwartende weltweite kommerzielle Fernmeldesatellitensystem
  1. Charakteristische Merkmale von Intelsat III
  2. Planungsgrundlagen für das erste weltweite Satellitensystem
VII. Zusammenfassung und Ausblick
VIII. Schrifttum

I. Einleitung

In den Jahren 1963/64 errichtete die Deutsche Bundespost (DBP) in der „Raistinger Wanne“, südlich des Ammersees, eine Erdefunkstelle für Fernmeldesatelliten mit einem Antennenspiegel von 25 m Durchmesser [1]. Bild 1 zeigt in einer Luftaufnahme das von Druckluft gestützte 39 m hohe Radom mit einem Durchmesser von 49 m, das zum Schutz gegen die Unbilden der Witterung über der nach allen Himmelsrichtungen drehbaren Antenne errichtet wurde.

Am 9. Oktober 1964 konnte in Raisting zum ersten Mal ein Testbild (Bild 2) von der NASA [1]-Erdefunkstelle Mojawe über den Satelliten Relay I empfangen werden, gerade noch rechtzeitig, um am 13. und 15. Oktober 1964 über die amerikanische Erdefunkstelle Andover an den Übertragungen von Ausschnitten über die olympischen Spiele in Tokio teilnehmen zu können. Andover erhielt das Bild über Richtfunk von der Erdefunkstelle Point Mugu bei Los Angeles, die über den Satelliten Syncom III mit der Erdefunkstelle Kashima (Japan) in Verbindung stand. Der Fernsehbegleitton wurde von Japan nach Andover auf getrenntem Weg übertragen, da die Bandbreite von Syncom III für die gleichzeitige Übertragung von Bild und Ton nicht ausreichend war.

---

*) Stand Anfang 1967.

[1] NASA = *National Aeronautics and Space Administration*, Weltraumbehörde der USA.

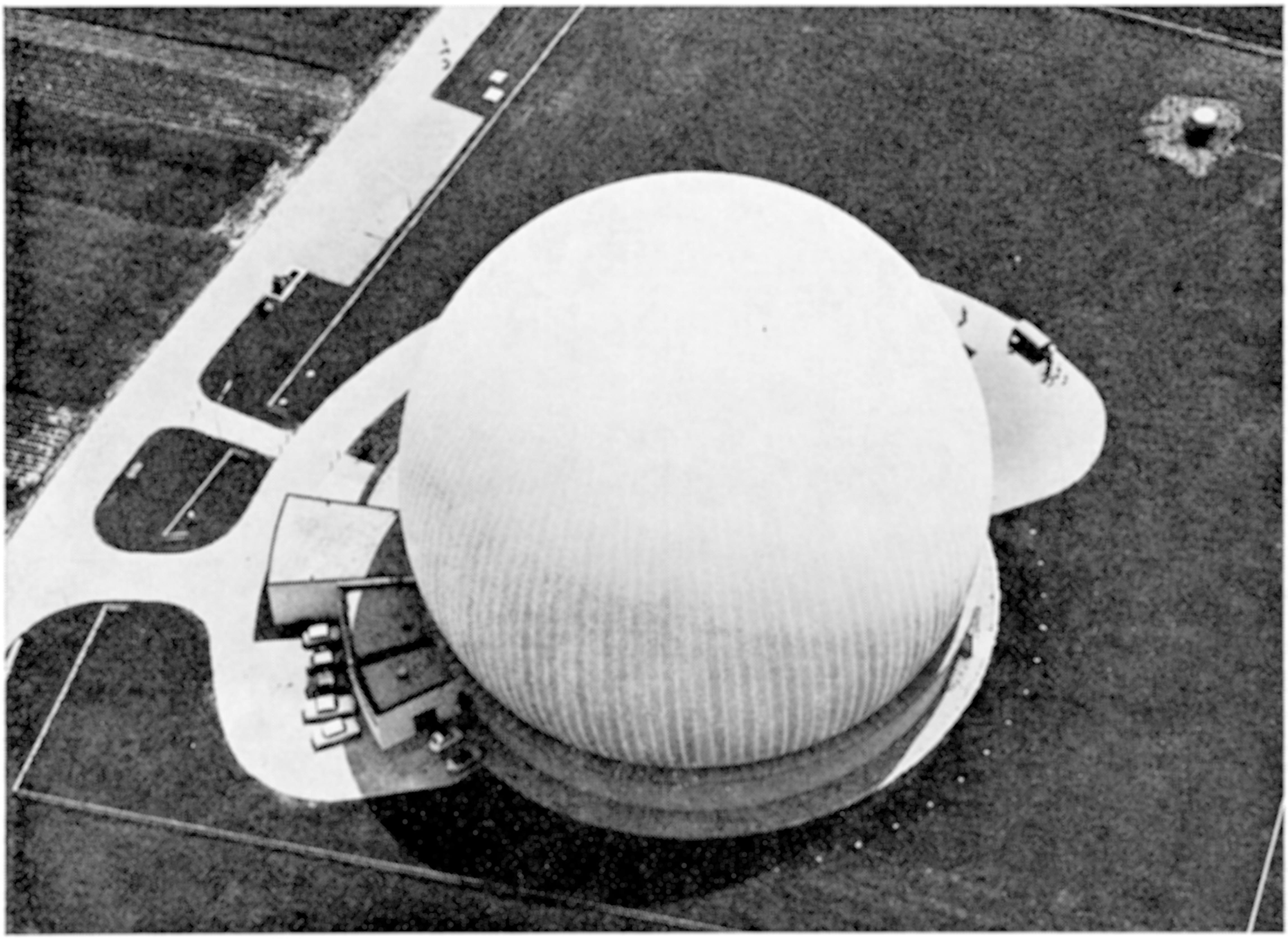


Bild 1. Antennenkuppel der Erdefunkstelle Raisting

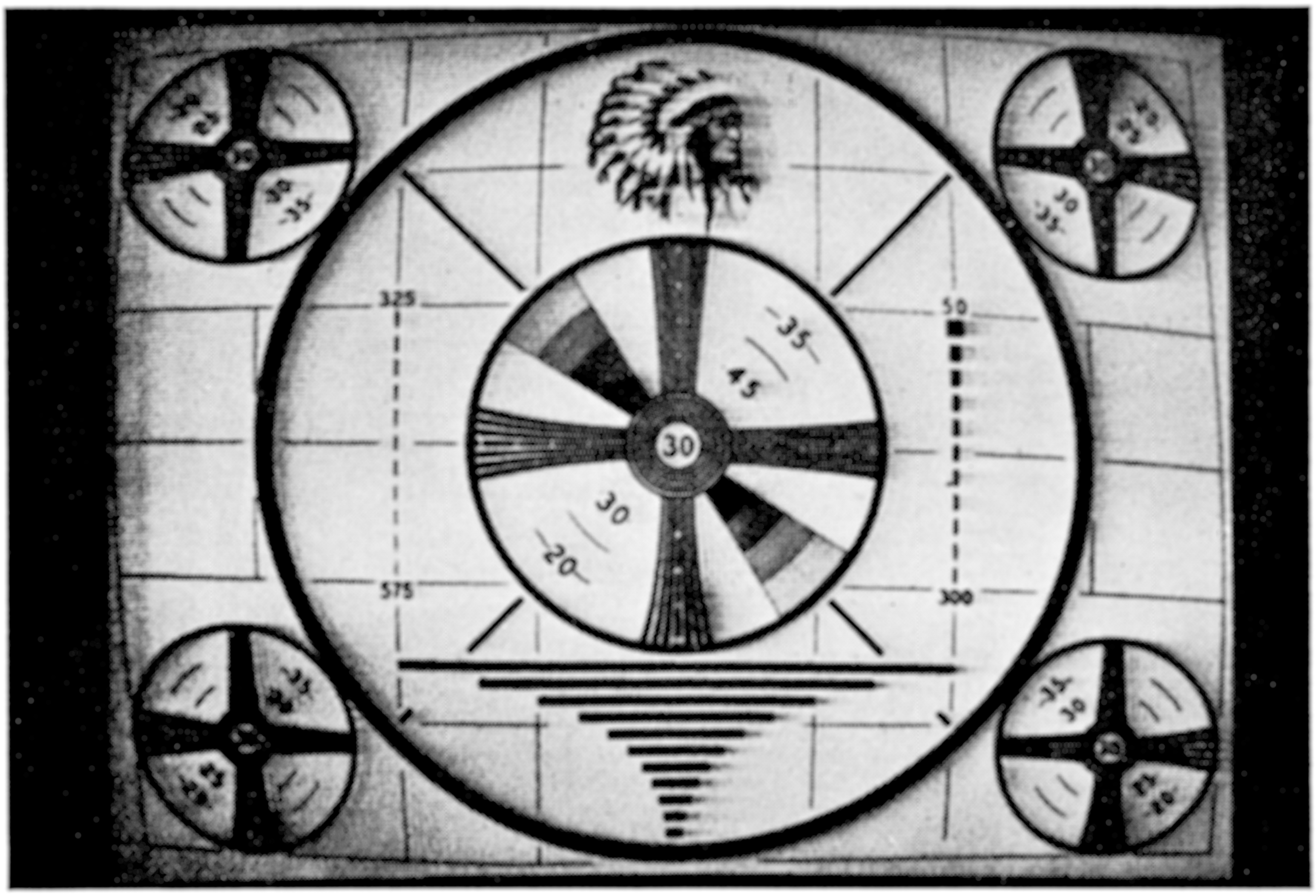

325
50
35
45
30
30
20
575
300

Bild 2. Testbild der NASA-Erdefunkstelle Mojawe

Das erste Fernsehprogramm, das in Raisting empfangen wurde und das die europäischen Rundfunkorganisationen über ihre Sender ausstrahlten (Bild 3), stand in Zusammenhang mit der Amtseinführung von Präsident L. B. Johnson am 21. 1. 1965. In umgekehrter Richtung von Raisting nach Andover fanden die ersten Fernsehübertragungen, die von amerikanischen Rundfunkgesellschaften übernommen wurden, am 27. und 30. Januar 1965 anläßlich der Trauerfeierlichkeiten für den verstorbenen Winston Churchill statt. Die englische und die französische Erdefunkstelle waren zu dieser Zeit wegen Umrüstungsarbeiten außer Betrieb, so daß für diese Übertragungen auf europäischer Seite allein Raisting in Frage kam.

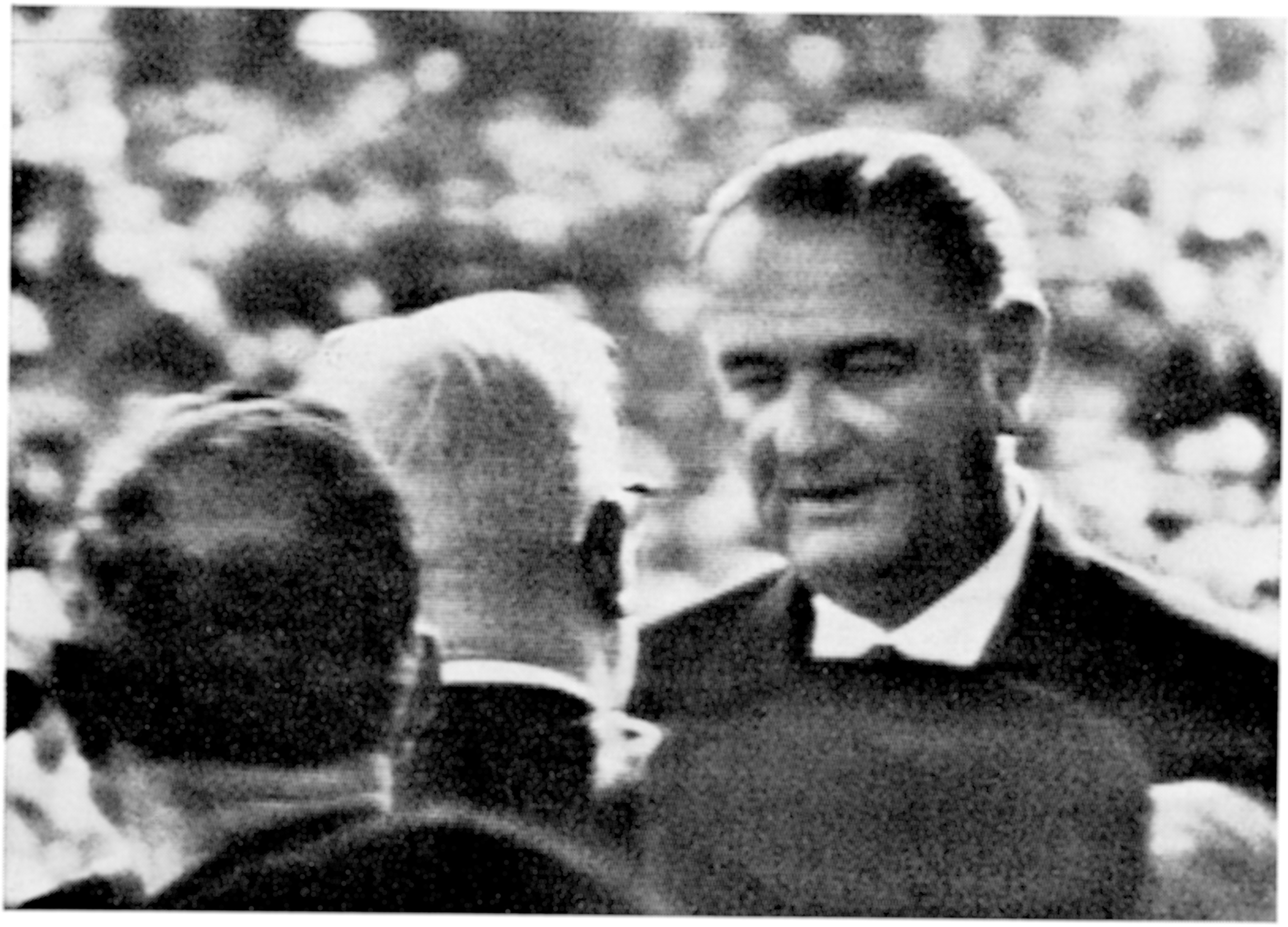


Bild 3. Aufnahme während der ersten Fernsehübertragung aus USA über Raisting

Nach einigen weiteren Versuchsübertragungen über Telstar und Relay und nachdem ein umfangreiches Meßprogramm auch über den Satelliten „Early Bird“ zum Abschluß gekommen war, wurde am 28. Juni 1965 zwischen Amerika und Europa der kommerzielle Betrieb über den Fernmeldesatelliten „Early Bird“ mit anfänglich 65 Fernsprechstromkreisen eröffnet. In den folgenden Ausführungen wird über die Anfänge der kommerziellen Nutzung von Fernmeldesatelliten, besonders über Versuchs- und erste Betriebsergebnisse sowie über Zuverlässigkeit der Verbindungen und erzielte Übertragungsqualität näher berichtet. Auch die organisatorischen Maßnahmen und die Vorbereitungen für ein erstes weltweites Satellitenfernmeldesystem werden behandelt (Stand vom November 1966).

II. Die wichtigsten technischen Eigenschaften der Raistinger Breitbandanlage

Seit Herbst 1963 hatte sich die DBP in Raisting mit einer Schmalbandanlage [1] an den Versuchsprogrammen der NASA beteiligt. Infolgedessen war das Personal bei der Inbetriebnahme der Breitbandanlage mit den Besonderheiten des Satellitenfunks in großen Zügen bereits vertraut. Daher konnten schon nach kurzer Einarbeit umfangreiche Untersuchungen durchgeführt werden, um die elektrischen und mechanischen Eigenschaften der neuen Anlage zu ermitteln. Nach Antennenvermessungen bei 4 und 6 GHz und nach Probeübertragungen über den Visierturm mit dem Satellitensimulator schlossen sich im Rahmen des NASA-Versuchsprogramms über die Satelliten Relay I und II sowie über Telstar II Messungen der Übertragungseigenschaften bei Fernsprechen, Telegraphie und Fernsehen an. In Raisting wurden etwa die gleichen Ergebnisse erzielt wie in den vergleichbaren Stationen Andover (USA), Pleumeur Bodou (Frankreich) und Goonhilly (Großbritannien). Die Raistinger Anlagen haben die in sie gesetzten Erwartungen voll erfüllt. Über die Versuchsreihen der Erdefunkstelle Andover wurde im Jahre 1963 sehr ausführlich berichtet [2], so daß hier auf detaillierte Angaben über die in Raisting durchgeführten Übertragungsversuche mit den Relay- und Telstarsatelliten verzichtet werden kann.

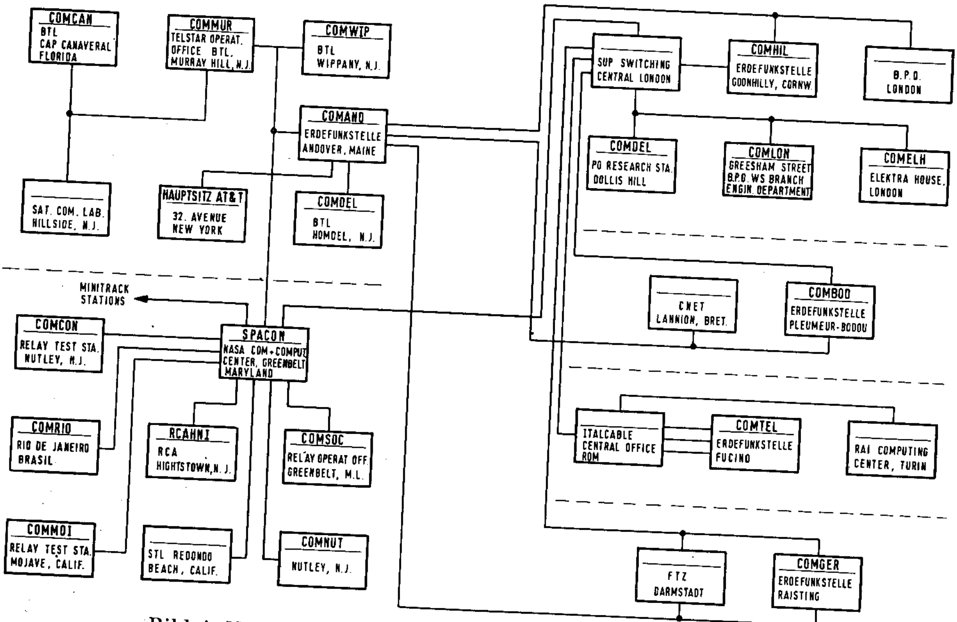

COMCAN
BTL
CAP CANAVERAL
FLORIDA
COMMUR
TELSTAR OPERAT.
OFFICE BTL.
MURRAY HILL, N.J.
COMWIP
BTL
WIPPANY, N.J.
COMAND
ERDEFUNKSTELLE
ANDOVER, MAINE
SAT. COM. LAB.
HILLSIDE, N.J.
HAUPTSITZ AT&T
32. AVENUE
NEW YORK
COMDEL
BTL
HOMDEL, N.J.
MINITRACK
STATIONS
COMCON
RELAY TEST STA.
NUTLEY, N.J.
SPACON
NASA COM+COMPUT
CENTER, GREENBELT
MARYLAND
COMRIO
RIO DE JANEIRO
BRASIL
RCAHNI
RCA
HIGHTSTOWN, N. J.
COMSOC
RELAY OPERAT OFF.
GREENBELT, M.L.
COMMOI
RELAY TEST STA.
MOJAVE, CALIF.
STL REDONDO
BEACH, CALIF.
COMNUT
NUTLEY, N.J.
SUP SWITCHING
CENTRAL LONDON
COMHIL
ERDEFUNKSTELLE
GOONHILLY, CORNW.
B.P.O.
LONDON
COMDEL
PO RESEARCH STA.
DOLLIS HILL
COMLON
GREESHAM STREET
B.P.O. WS BRANCH
ENGIN. DEPARTMENT
COMELH
ELEKTRA HOUSE.
LONDON
CNET
LANNION, BRET.
COMBOO
ERDEFUNKSTELLE
PLEUMEUR-BODOU
ITALCABLE
CENTRAL OFFICE
ROM
COMTEL
ERDEFUNKSTELLE
FUCINO
RAI COMPUTING
CENTER, TURIN
FTZ
DARMSTADT
COMGER
ERDEFUNKSTELLE
RAISTING

Bild 4. NASA-Fernschreibnetz für Telstar- und Relay-Projekt

Wieviel Stellen sich an den NASA-Versuchsprogrammen beteiligten, zeigt Bild 4 mit dem Überblick über das Fernschreibnetz, das von der NASA für diese Satellitenexperimente angemietet worden war. Die

Leitungen dienten der Vorbereitung und Durchführung der Versuche. Auf beiden Seiten des Atlantiks kamen noch einige festgeschaltete Fernsprechleitungen hinzu, die durch einen Fernsprechstromkreis im Seekabel zwischen einer Vermittlung in London und dem NASA-Rechenzentrum in Greenbelt ergänzt wurden. Von hier aus erhielten sämtliche Erdefunkstellen über Fernschreiber die Bahnelemente, aus denen unter Berücksichtigung der waltenden atmosphärischen Verhältnisse die Ephemeriden der Satelliten und damit die Steuerung der Antenne berechnet werden.

Da der Antennentyp von Raisting als Cassegrain-Antenne mit Horneinspeisung bisher noch bei keiner anderen Erdefunkstelle erprobt worden war, wurden die Eigenschaften der Raistinger Antenne sehr eingehend untersucht [3]. Die wichtigsten Merkmale seien deshalb kurz zusammengefaßt:

Das Strahlungsdiagramm bei Zirkularpolarisation für 4,17 GHz zeigt Bild 5. Bei Abweichungen von der Hauptstrahlrichtung um 5° fallen die Nebenzipfel bereits um mehr als 40 dB ab. Die Seitenstrahlung sowie die rückwärtige Strahlung liegen um etwa 75 dB niedriger als der Hauptstrahl. Der Gewinn gegenüber Kugelstrahler beträgt 58,1 dB, wobei die Unsicherheit, mit der diese Gewinnmessung behaftet ist, bei ± 0,5 dB liegt. Genauere Gewinnmessungen mit einer Unsicherheit von etwa ± 0,3 dB (z. B. mit Hilfe des Radio-Sterns Taurus A, dessen Strahlungsintensität zwischen 4 und 6 GHz ziemlich unabhängig von der Frequenz ist) stehen noch aus. Für 6,4 GHz wurde bei Zirkularpolarisation ein Gewinn von 61,5 ± 0,8 dB gemessen. Der Antennengewinn bei linearer Polarisation wurde für 6,4 GHz ebenfalls mit 61,5 ± 0,8 dB ermittelt, für 4,17 GHz dagegen mit 58,4 ± 0,6 dB.

Der hohe Flächenwirkungsgrad von etwa 54 % bei 4 GHz und von etwa 58 % bei 6 GHz wurde nur erreicht, weil die Konturgenauigkeit der verschiedenen Reflektoren dank sorgfältiger Fertigung sehr groß ist. Die quadratischen Mittelwerte der Abweichungen vom idealen Paraboloid ergaben sich beim Hauptreflektor, der mit Hilfe von etwa 900 Meßmarken überprüft werden konnte, je nach Antennenelevationswinkel zu 0,5 bis 0,7 mm. Nur an wenigen Meßpunkten sind die noch zulässigen Grenzwerte von ± 1 mm innerhalb der Fangreflektorstützen und von ± 2 mm im äußeren Teil geringfügig überschritten. Die Konturgenauigkeit beim Reflektor des speisenden Horns liegt ebenfalls in den geforderten Grenzen ($\leqq \pm 0{,}4$ mm), während der vorgeschriebene Wert ($\leqq \pm 0{,}2$ mm) für den Fangreflektor teilweise um das Doppelte überschritten wurde.

Wie aus Bild 6 hervorgeht, haben Messungen ergeben, daß das Minimum der E_{01}-Welle, die für die automatische Nachführung ausgewertet wird, sehr ausgeprägt ist. Das Minimum liegt etwa um 35 dB unter den Maximalwerten der Wellentypen $(H_{11})_x$ und $(H_{11})_y$. Das automatische Steuersystem [1] erhält also ganz eindeutige Kriterien für den Nachlauf, so daß eine Einstellgenauigkeit von 0,003°, bezogen auf das Minimum der E_{01}-Welle, erreicht wurde.

Um die Antenne auch mit Hilfe der Programmsteuerung einwandfrei nachführen zu können, mußte überprüft werden, ob die Elevations-

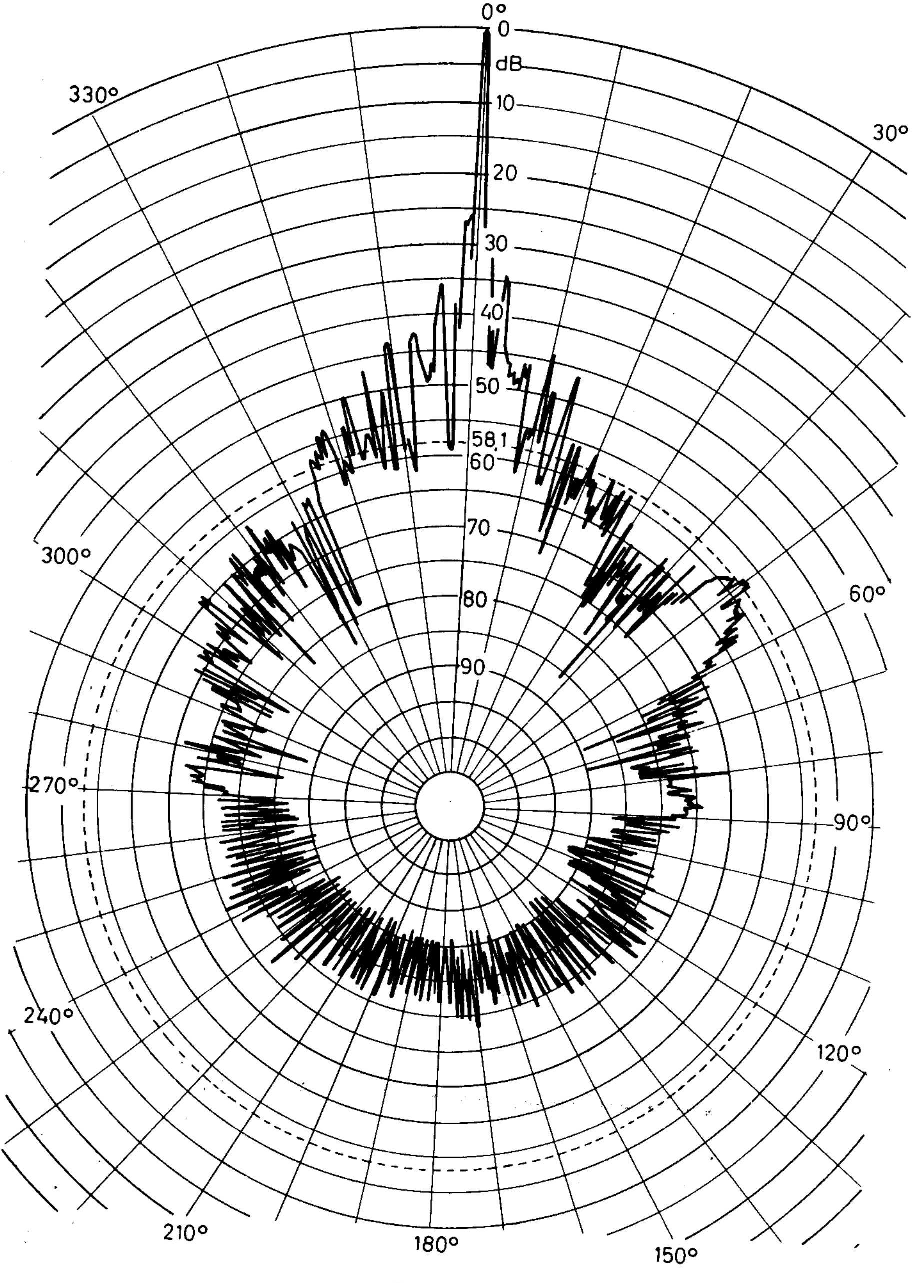


Bild 5.
Azimutaldiagramm der Antenne in Raisting (H_{11}-Welle, linkszirkular) bei 4,17 GHz

achse der Antenne von der horizontalen Lage merklich abweicht. Hierbei wurde festgestellt, daß in Abhängigkeit vom Azimut einem konstanten Neigungswinkel von 0,002° geringe Schwankungen von ± 0,001° überlagert sind. Die nur sehr geringen Abweichungen sind ein Beweis für die hohe Konturgenauigkeit der Azimut-Laufschiene. Sie lassen auf eine fast ebene Oberfläche mit etwa 0,001° Neigung in Richtung Süden schließen.

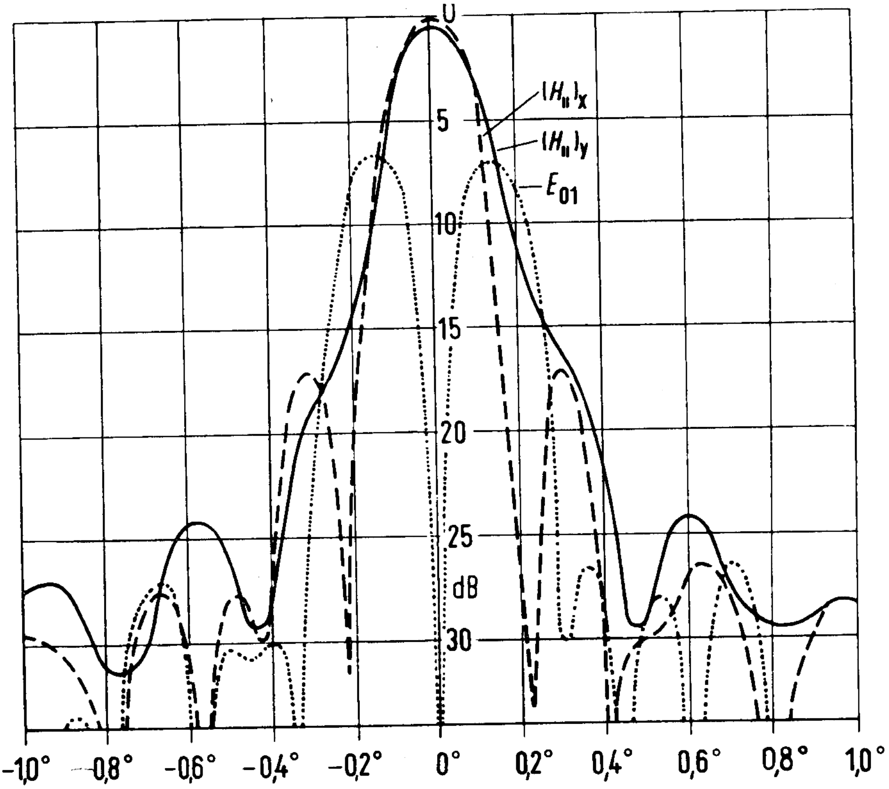


Bild 6. Antennendiagramm in Nähe der Hauptstrahlrichtung; Wellentypen $(H_{11})_x$, $(H_{11})_y$ und E_{01} bei 4,08 GHz

Errechnet man aus einer solchen Neigung bei der kreisförmigen Laufschiene von 12,4 m Durchmesser die zugehörige Höhendifferenz zwischen höchstem Punkt im Norden und tiefstem Punkt im Süden, so erhält man einen Wert von 0,2 mm. Durch Messung der Höhenfehler mittels Tiefenindikator sind diese Werte bestätigt worden. Zur Zeit der ersten Einmessung der Laufschiene im August 1964 betrug die einseitige Setzung des eigentlichen Fundaments etwa 0,4 mm. Vermessungen im Juli 1966 ergaben eine Gesamtsetzung des Fundaments um 4 mm, wobei eine einseitige Setzung um 1 mm festgestellt wurde. Sollten die einseitigen Setzungen des Fundaments weiterhin zunehmen, so müßten die Abweichungen in das Programm für die Antennensteuerung mit aufgenommen werden.

Die Genauigkeit, mit der die Antenne durch entsprechende Steuerbefehle auf jeden beliebigen Punkt der Hemisphäre ausgerichtet werden kann, liegt bei 0,01°. Dieser Wert ist ausreichend und sinnvoll; denn die Hauptstrahlrichtungen für 4 und 6 GHz differieren z. B. bei gegensinniger zirkularer Polarisation um einen ähnlichen Betrag. Außerdem wurde ermittelt, daß nach Auskopplung über den Modenkoppler das E_{01}-Minimum gegenüber dem H_{11}-Maximum, das der Signalauswertung dient, auch um etwa 0,01° versetzt ist.

Neben dem Antennengewinn G ist für die Charakterisierung einer Erdefunkstelle auch noch die Systemrauschtemperatur T des Empfangssystems [1] von besonderer Bedeutung. Das Verhältnis G/T einer Erdefunkstelle bestimmt wegen der begrenzten Senderleistung im Satelliten das Signal-Rauschverhältnis in den einzelnen Fernsprechkanälen und damit auch im wesentlichen die Übertragungsqualität des Gesamtsystems. Das Verhältnis G/T, ausgedrückt in dB, wird daher auch bei der Standardisierung von Erdefunkstellen als das wesentlichste Merkmal angesehen. Die Systemrauschtemperatur ist abhängig von dem jeweiligen Elevationswinkel, unter dem die Antenne arbeitet (Bild 7). Außerdem wird sie vom Zustand der Radomhülle beeinflußt. Bei einer Elevation von 70° ergaben die Messungen bei trockener Radomhülle eine Systemrauschtemperatur von 28° K. Der geringe Anstieg bei noch höheren Elevationen dürfte durch die im oberen Bereich der Hülle enger zusammenkommenden Nahtstellen bedingt sein. Andererseits nimmt die Rauschtemperatur bei niedrigeren Elevationen wegen der zur Erde gerichteten Nebenzipfel zu. Die maximalen Werte um 260° K werden erreicht, wenn das thermische Rauschen des umgeben-

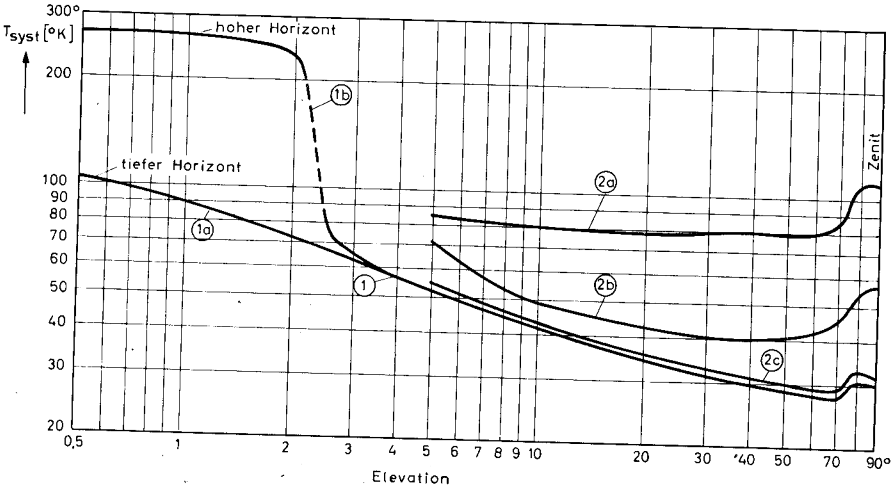


Bild 7. Rauschtemperatur des Empfangssystems in Raisting
1, 1 a und 1 b: Kurvenverlauf bei trockener Radomhülle
2 a: bei starkem Regen, 2 b: bei leichtem Regen, 2 c: 10 Min nach Regen

den Erdbodens von der Hauptkeule der Antenne erfaßt wird. Elevationswinkel unter 3° wird man deshalb wegen der raschen Zunahme der Rauschtemperatur vermeiden müssen. Oberhalb 6° Elevation liegt die Systemrauschtemperatur unter 50° K.

Bei Regen steigt die Rauschtemperatur erheblich an (Bild 7, Kurven 2 a und 2 b). Wegen der Ansammlung von Wasser, besonders in Zenitnähe, steigt im oberen Bereich die Rauschtemperatur am stärksten an, während bei niedrigeren Elevationswinkeln der Einfluß von Regen geringer ist. Bemerkenswert ist, daß bei Nachlassen des Regens in kurzer Zeit die Werte für die trockene Radomhülle praktisch wieder erreicht sind (Bild 7, Kurve 2 c). Die Haut, bestehend aus einem Dacrongewebe mit einer Hypalonschutzschicht, ist wasserabweisend und trocknet offenbar sehr schnell.

Tabelle 1

Werte für verschiedene Erdefunkstellen bei 4,17 GHz, Zirkularpolarisation und 5° Elevation; trockenes Wetter

Erdefunkstelle	G dB	T °K	G/T dB
Andover	58	50	41
Pleumeur Bodou	58	50	41
Raisting	58,1	52	41
Goonhilly (ohne Radom)	61,1	85	41,8

Die Werte G/T vergleichbarer Stationen sind in Tabelle 1 für die Empfangsfrequenz 4,17 GHz und Zirkularpolarisation bei 5° Elevation und bei trockenem Wetter angegeben.

III. Das Internationale Fernmeldesatelliten-Konsortium (Intelsat)²) und seine Aufgaben

Nachdem durch Relay und Telstar nachgewiesen worden war, daß Satelliten für die Fernmeldeübertragungen vielfältig verwendbar sind, beeilten sich vornehmlich amerikanische und europäische Regierungen und deren Fernmeldeverwaltungen bzw. private Betriebsgesellschaften, die organisatorischen Voraussetzungen zu schaffen, um das neue Kommunikationsmittel für den weltweiten Fernmeldeverkehr einsetzen zu können. Am 20. August 1964 wurde von 11 Regierungen ein „Abkommen zur vorläufigen Regelung für ein weltweites kommerzielles Satellitenfernmeldesystem" unterzeichnet [4]. Dieses Abkommen befaßt sich nur mit dem „Weltraumsektor" des Systems; Errichtung und Betrieb von Erdefunkstellen bleiben den Benutzern des Weltraumsektors selbst überlassen. Ein „Sonderabkommen" enthält die grundsätzlichen Richtlinien, nach denen bei Errichtung und Betrieb des „Weltraumsektors" verfahren werden soll. Hierin ist z. B. festgelegt, wie die Länder sich an den Investitionen zu beteiligen haben, welche Gesichtspunkte bei der Festsetzung der Gebühren für die Benutzung des „Weltraumsektors" gelten sollen, wie bei der Entscheidung für ein erstes weltweites Satel-

---

2) Intelsat = *In*ternational *Tel*ecommunications *Sat*ellite Consortium.

litensystem und wie bei der Vergabe von Aufträgen an die Industrie zu verfahren ist. Jedem beteiligten Land wird eine bestimmte Quote zugewiesen, die dem Grad der Beteiligung entsprechen soll und im allgemeinen nach dem interkontinentalen Verkehr des betreffenden Landes bemessen wird. Entsprechend diesen Quoten haben sich die Länder an den Ausgaben für Investitionen zu beteiligen. Auch die Gebühreneinnahmen, die von den Benutzern des Weltraumsektors eingehen, werden im Verhältnis dieser Quoten unter den Mitgliedsländern aufgeteilt. Alle Länder, die Mitglied in der Internationalen Fernmeldeunion sind, können sich den Abkommen anschließen. Bis zum 1. Oktober 1966 waren dem Konsortium 53 Länder beigetreten, die in Tabelle 2 mit der für jedes Land festgesetzten Quote aufgeführt sind. Beim Hinzukommen weiterer Länder werden die bisherigen Quoten jeweils anteilmäßig reduziert, so daß die Summe sämtlicher Quoten stets 100 % ergibt.

Zur Vertretung der Interessen der Unterzeichner des „Sonderabkommens“, die das „Internationale Fernmeldesatelliten-Konsortium“ bilden, wurde gemäß Regierungsabkommen der „Vorläufige Fernmeldesatelliten-Ausschuß ICSC 3)“ eingesetzt, in dem alle Länder oder Ländergruppen mit einer Quote von mehr als 1,5 % vertreten sind. Die amerikanische Satellitengesellschaft Comsat 4) dient gemäß Regierungsabkommen dem ICSC als geschäftsführendes Organ. Alle wesentlichen Entscheidungen über den Weltraumsektor obliegen jedoch dem ICSC, zu dessen Beratung und zur Prüfung spezieller Fragen folgende Unterausschüsse gebildet wurden:

Unterausschuß für technische Angelegenheiten (ICSC/T = Advisory Subcommittee on Technical Matters),

Unterausschuß für Finanzfragen (ICSC/F = Advisory Subcommittee on Finance),

Unterausschuß für Kontraktfragen (ICSC/C = Advisory Subcommittee on Contracting Procedures).

Der Fernmeldesatelliten-Ausschuß soll im Jahre 1968 Vorschläge ausarbeiten, die einer neuen Regierungskonferenz als Grundlage für eine endgültige Regelung vorzulegen sind. Es wird Wert darauf gelegt, daß die endgültige Regelung für ein weltweites Satellitenfernmeldesystem spätestens am 1. Januar 1970 in Kraft treten kann.

Die verschiedenen Abkommen enthalten bereits ein ziemlich detailliertes Fernmeldesatellitenprogramm, das für die Arbeit im ICSC und in seinen Unterausschüssen richtungweisend ist. Im Anschluß an eine Versuchs- und Betriebsphase mit einem Satelliten in synchroner Umlaufbahn soll im zweiten Halbjahr 1967 durch den Start weiterer Satelliten die Grundlage für ein weltumspannendes Fernmeldenetz geschaffen werden. Der am 6. 4. 1965 in Umlauf gebrachte Satellit Early Bird ist also bereits eine Auswirkung dieser internationalen Vereinbarungen. Dieser Satellit, mit dem der kommerzielle Betrieb zwischen Europa und Amerika am 28. Juni 1965 eröffnet wurde, erhielt später die Bezeichnung Intelsat I.

---

3) ICSC = *In*terim *C*ommunications *S*atellite *C*ommittee.
4) Comsat = *Com*munications *Sat*ellite Corporation.

Tabelle 2

Länder des Internationalen Fernmeldesatelliten-Konsortiums, Stand 1. Oktober 1966

Äthiopien	0,075 019 %
Algerien	0,562 639
Argentinien	1,463 828
Australien	2,476 302
Belgien	0,990 521
Brasilien	1,463 828
Bundesrepublik Deutschland	5,492 889
Ceylon	0,046 887
Chile	0,292 766
Dänemark	0,360 189
Frankreich	5,492 889
Griechenland	0,097 589
Großbritannien	7,563 978
Indien	0,487 943
Indonesien	0,281 320
Irak	0,009 377
Irland	0,315 166
Israel	0,589 137
Italien	1,981 042
Japan	1,800 947
Jordanien	0,046 887
Kanada	3,376 776
Kolumbien	0,562 639
Kuweit	0,046 887
Libanon	0,075 019
Libyen	0,028 132
Liechtenstein	0,050 000
Malaysia	0,248 876
Marokko	0,299 850
Monaco	0,004 689
Neuseeland	0,421 979
Niederlande	0,900 474
Nigeria	0,374 206
Norwegen	0,360 189
Österreich	0,180 095
Pakistan	0,244 656
Portugal	0,360 189
Republik China	0,093 773
Saudi-Arabien	0,046 887
Singapur	0,099 950
Schweden	0,630 331
Schweiz	1,800 947
Spanien	0,990 521
Südafrikanische Union	0,281 320
Sudan	0,009 378
Syrien	0,037 509
Thailand	0,099 550
Tunesien	0,187 546
Vatikanstadt	0,045 024
Venezuela	0,992 018
Vereinigte Arabische Republik	0,328 206
Vereinigte Staaten von Amerika	54,928 885
Yemen	0,029 359

IV. Versuchs- und Betriebsphase mit Intelsat I

1. Die charakteristischen technischen Eigenschaften von Intelsat I

Mit dem Satelliten Intelsat I (Bild 8) sollten Erfahrungen gesammelt werden, um entscheiden zu können, ob Verbindungen über Synchronsatelliten trotz der verhältnismäßig langen Laufzeit für den kommerziellen Fernmeldeverkehr verwendbar sind. Hierfür kam, entsprechend dem damaligen Stande der Technik, ein Satellit mit Spinstabilisierung [5]) in Betracht, der ähnliche Eigenschaften hat wie der NASA-Satellit Syncom. Das vereinfachte Blockschaltbild von Intelsat I zeigt Bild 9. Der Satellit hat für die beiden Übertragungsrichtungen zwei getrennte Transponder, die über eine Frequenzweiche mit der 6-GHz-Empfangsantenne verbunden sind. Die Bandbreite der Transponder, die am Ausgang der Zwischenfrequenzverstärkung einen Begrenzer haben, beträgt 31 MHz. Die Mittenfrequenz auf der Empfangsseite des einen Transponders liegt bei 6301 MHz, die des anderen bei 6390 MHz. Das Rauschmaß des Empfängers ist mit 8,5 dB angegeben. Für die Mischer vor und hinter dem Zwischenfrequenzverstärker wird über getrennte Frequenzvervielfacher ein gemeinsamer Oszillator benutzt, der gleichzeitig auch zur Erzeugung einer Bakenfrequenz dient. Für die Übertragung von Meßwerten zur Erde wird diese Bakenfrequenz moduliert. Die Fernsteuersignale werden am Ausgang des Zwischenfrequenzverstärkers einem Demodulator und Auswerter zugeführt. Die beiden Transponder sind in ihrer Arbeitsweise unabhängig. Am Ausgang werden beide Übertragungswege mit den Trägern von 4081 und 4160 MHz über eine Sendefrequenzweiche zusammengefaßt. Die Signale beider Übertragungsrichtungen werden gemeinsam in der Wanderfeldröhre 1 oder 2 verstärkt. Die Umschaltung zwischen den beiden Röhren wird über Fernsteuerung von einer Erdefunkstelle eingeleitet. Zwei unabhän-

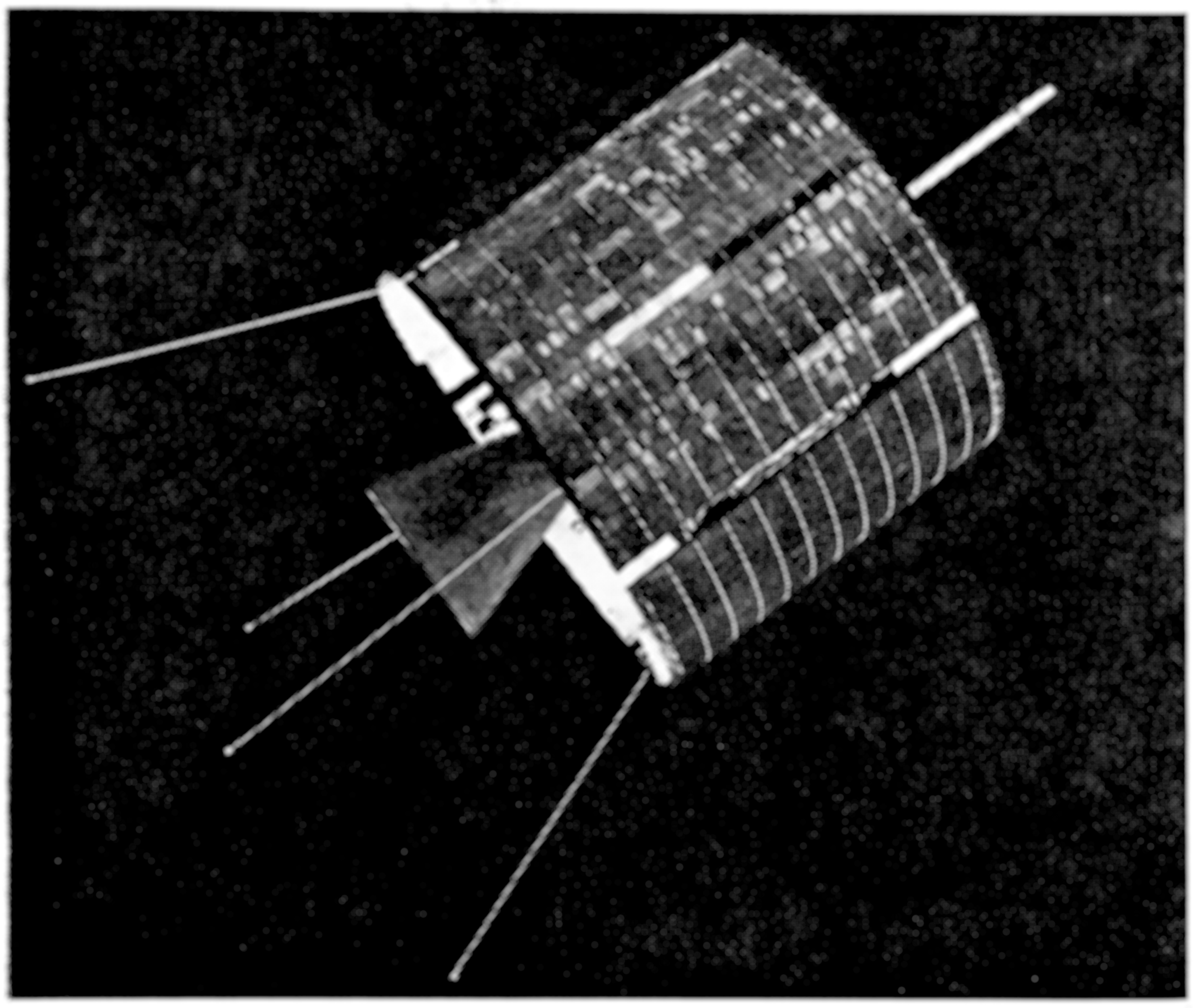


Bild 8. Fernmeldesatellit Intelsat I (Early Bird)

---

5) Rotation um eine ausgeprägte Achse.

gig zu betreibende Wanderfeldröhren wurden gewählt, um eine höhere Betriebssicherheit zu erzielen. Für einen einzelnen RF-Träger hat die Endstufe eine maximale Ausgangsleistung von 4 Watt. Beim Fernsprechen sind jedoch gleichzeitig 2 RF-Träger zu verstärken. Um die dabei entstehenden Intermodulationsprodukte genügend klein zu halten, wird die Wanderfeldröhre so angesteuert, daß die Leistung jedes einzelnen Trägers nur 1,6 Watt beträgt.

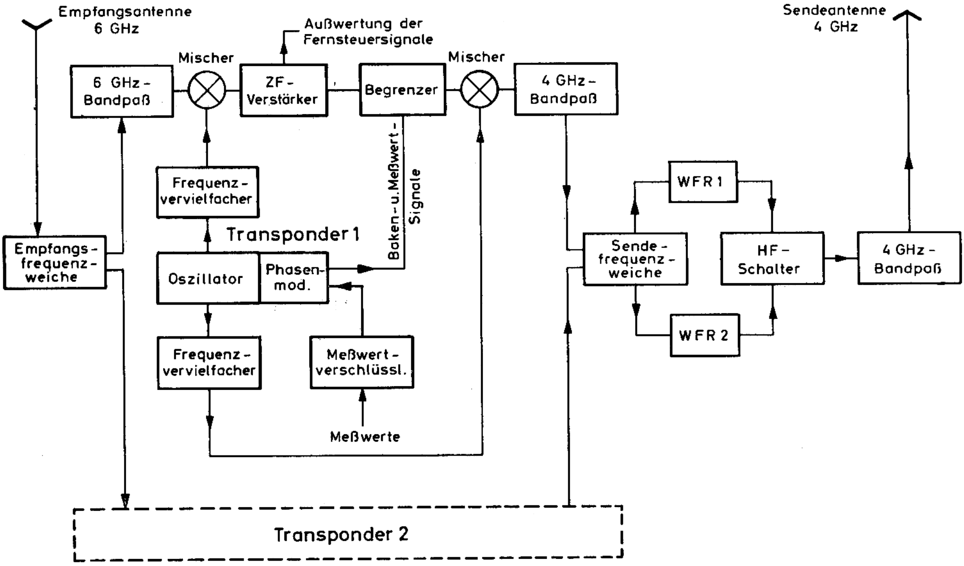

Empfangsantenne 6 GHz
Außwertung der Fernsteuersignale
Sendeantenne 4 GHz
Mischer
Mischer
6 GHz-Bandpaß
ZF-Verstärker
Begrenzer
4 GHz-Bandpaß
Baken- u. Meßwert-Signale
Frequenzvervielfacher
Transponder 1
WFR 1
Empfangsfrequenzweiche
Oszillator
Phasen-mod.
Sendefrequenzweiche
HF-Schalter
4 GHz-Bandpaß
WFR 2
Frequenzvervielfacher
Meßwertverschlüssl.
Meßwerte
Transponder 2

Bild 9. Vereinfachtes Blockschaltbild von Intelsat I

Die Satellitenantennen sind für lineare Polarisation vorgesehen. Sie sind in Bild 8 als Stab in Verlängerung der Rotationsachse zu erkennen. Die 6-GHz-Empfangsantenne am vorderen Ende des Stabes hat bei einer Strahlbreite von etwa 50° einen Gewinn von 4 dB. Die erheblich längere 4-GHz-Sendeantenne hat 9 dB Gewinn und eine Strahlbreite von etwa 12°. Die Hauptstrahlrichtung ist bei der Sendeantenne konisch und ist bei der äquatorialen Umlaufbahn von Early Bird um etwa 7° nach Norden geneigt, so daß im wesentlichen nur die Länder nördlicher Breite ausgeleuchtet werden.

Um sich während der Startphase zur Bahnbestimmung der NASA-Minitrack-Stationen bedienen zu können, enthält der Satellit auch zwei 136-MHz-Sender von 1,8 W Leistung, die gleichzeitig für die Übertragung verschiedener Meßwerte benutzt werden. Die zugehörigen 4 Peitschenantennen sind in der Nähe des Apogäumsmotors in Bild 8 zu erkennen. Der Apogäumsmotor dient dazu, den Satelliten von einer Übergangsellipse in eine Kreisbahn überzuleiten und dabei seine Neigung gegen die Äquatorebene zu beseitigen. Nur bei Verwendung einer Abschlußbasis, die auf dem Äquator liegt, ist gleich beim Start eine äquatoriale Umlaufbahn realisierbar. Außer dieser Antriebskraft des Apogäumsmotors enthält der Satellit zwei Treibstoffbehälter mit Wasserstoffsuperoxyd, das über entsprechende Düsen bei gelegentlichen Bahnkorrekturen für geringe Änderungen der Umlaufgeschwindigkeit und für Lagekorrekturen verwendet wird.

Als Energiequelle für die Stromversorgung dienen 6000 Sonnenzellen, die am Außenmantel des Satelliten befestigt sind. Die Anschlußleistung der gesamten elektronischen Ausrüstung liegt bei 45 W. Die beiden Batterien von etwa 27 V und je 0,75 Ah werden nach der Startphase nur noch in Verbindung mit der Empfangsseite der Transponder für gewisse Manöver der Bahnsteuerung benötigt. Die Leistungsstufe mit Wanderfeldröhre kann z. B. beim Durchlaufen des Satelliten durch den Erdschatten von den Batterien nicht ausreichend versorgt werden, da deren Kapazität, um an Gewicht zu sparen, hierfür nicht bemessen ist.

Die Lebenserwartung für Intelsat I wurde mit 18 Monaten angegeben. Die 18 Monate waren im Oktober 1966 erfüllt. Bisher ist noch kein Anzeichen für ein systematisches Nachlassen eines bestimmten Bauelements feststellbar. Auch die Sonnenzellen arbeiten den Erwartungen entsprechend. Es ist also nicht abzusehen, wann der Satellit wirklich ausfallen wird; denn die Vorausberechnung der Lebensdauer eines Einzelobjektes ist mit vielen Unsicherheiten behaftet, da alle Berechnungen auf statistischen Ausfallwahrscheinlichkeiten basieren, die nur bei größeren Stückzahlen eine gewisse Aussage zulassen. Bei Ausfall eines Transponders bleibt der Satellit für eine Einweg-Fernsehübertragung mit Begleitton weiterhin verwendbar.

Wegen der Verzerrungen, die im Begrenzer des ZF-Teils der Transponder entstehen, ist Intelsat I nicht geeignet, ohne wesentlichen Verlust an Fernsprechstromkreisen mehrere Träger verschiedener Erdefunkstellen gleichzeitig zu übertragen. Die maximale Anzahl von Stromkreisen erhält man also nur bei Betrieb zwischen zwei Erdefunkstellen. Zwischen Stationen, deren Empfangssystem einen G/T-Wert von wenigstens 39 dB hat, sind 240 Fernsprechkanäle möglich. An Stelle von Ferngesprächen kann der Satellit auch für Fernsehübertragungen, und zwar gleichzeitig in beiden Richtungen einschließlich Begleitton benutzt werden. Bei Farbfernsehübertragung sollte man aber zur Erhöhung der Übertragungsqualität die volle Leistung der Ausgangsstufe für einen einzigen Träger verwenden, so daß man also in diesem Falle auf die Gegenrichtung verzichten muß.

2. Startphase, Umlaufbahn und Bahnverfolgung bei Intelsat I

Intelsat I (Gewicht 68 kg) wurde am 6. April 1965 vom Raketenversuchsgelände Kap Kennedy mit einer dreistufigen verstärkten Delta-Rakete gestartet. Nach 26 Min. 32 Sek. wurde der Satellit von der 3. Raketenstufe getrennt, nachdem er in die zur Stabilisierung erwünschte Spinbewegung von etwa 150 Umdrehungen pro Minute versetzt worden war. Er bewegte sich dann auf einer stark elliptischen Umlaufbahn um die Erde mit einer Neigung von etwa 18° gegen den Äquator (Bild 10). Das Apogäum lag bei 36 520 km, das Perigäum bei 1463 km. Die Umlaufzeit betrug etwas mehr als 11 Stunden. Nachdem man mit Hilfe einiger Fernsteuermanöver durch Betätigung der Wasserstoffsuperoxyd-Düsen die Umlaufgeschwindigkeit korrigiert hatte und der Satellit in die geeignete Ausgangsposition gedreht worden war, wurde über dem Äquator bei etwa 32° westlicher Länge im 6. Apogäum zur Erzielung einer äquatorialen Kreisbahn der Apogäumsmotor gezündet. Danach führte man noch mehrere Feinkorrekturen mit Hilfe der Wasserstoffsuperoxyd-Düsen durch und hatte schließlich am 22. April 1965 folgende Daten der Umlaufbahn erreicht:

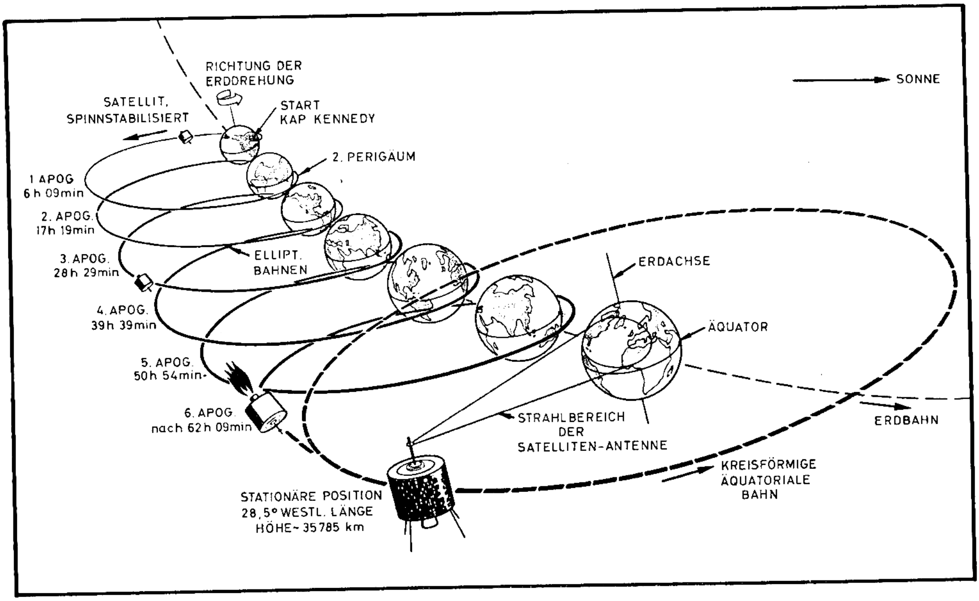

RICHTUNG DER ERDDREHUNG
SONNE
SATELLIT, SPINNSTABILISIERT
START KAP KENNEDY
2. PERIGÄUM
1 APOG 6 h 09min
2. APOG. 17h 19min
3. APOG. 28h 29min
ELLIPT. BAHNEN
ERDACHSE
4. APOG. 39h 39min
ÄQUATOR
5. APOG. 50h 54min
6. APOG. nach 62h 09min
STRAHLBEREICH DER SATELLITEN-ANTENNE
ERDBAHN
KREISFÖRMIGE ÄQUATORIALE BAHN
STATIONÄRE POSITION 28,5° WESTL. LÄNGE HÖHE ~ 35785 km

Bild 10. Startphase von Intelsat I

Dauer eines Umlaufs	23 Std. 55 Min. 56 Sek.
Apogäum	35 800 km
Perigäum	35 770 km
Neigung zur Äquatorebene	0,185°
Position in westlicher Länge	28,5°
Drift pro Tag	0,04°

Wie aus diesen Daten hervorgeht, ist die ideale äquatoriale synchrone Kreisbahn durch diese Manöver nahezu erreicht worden. Der Satellit führt, von der Erde gesehen, nur sehr geringe Bewegungen aus (Bild 11). Eine weitere Bahnkorrektur wurde erst wieder im Dezember 1965 vorgenommen, nachdem infolge zunehmender Drift der Satellit nahezu den 39. Längengrad (West) erreicht hatte. Da die Korrekturen so selten erforderlich sind, ist damit zu rechnen, daß der Treibstoff bis zum Jahre 1969 ausreicht, um weitere Positionskorrekturen vornehmen zu können. Für eine gelegentliche Beseitigung der Inklination, die im Verlauf eines Jahres um etwa 0,8° bis 1° zunimmt, reicht der Vorrat jedoch nicht mehr. Es muß also damit gerechnet werden, daß der Satellit in einiger Zeit um den Äquator herum täglich eine kleine Acht durchwandert.

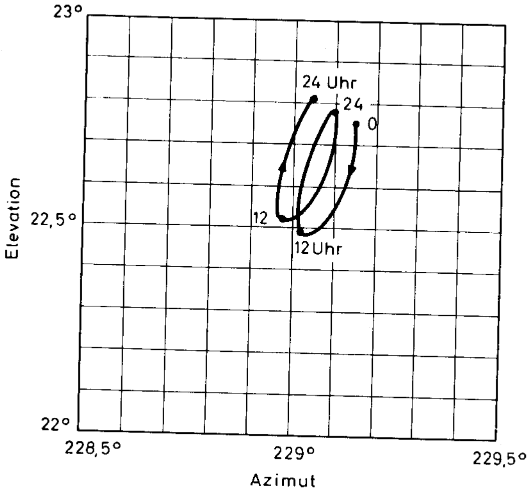


Bild 11.
Azimut- und Elevationswinkel für Antenne in Raisting bei Verfolgung von Intelsat I; 4./5. Mai 1965

Da in der Erdefunkstelle die Antennennachführung bei einem quasistationären Satelliten im Notfall vorübergehend auch von Hand durch Abstimmung auf Empfangsmaximum möglich ist, wurde in Raisting darauf verzichtet, den Modenkoppler für die automatische Feinnachführung für lineare Polarisation umzurüsten. Die Antenne wird in Raisting bei Betrieb über Intelsat I nur mit Programmsteuerung nachgeführt, wobei sie gelegentlich manuell über die Anzeige des Empfangspegels optimal ausgerichtet wird, um die jeweiligen Ablagen festzustellen und um die Genauigkeit der eingegebenen Steuerdaten zu überprüfen.

Der bei Zirkularpolarisation in der Erdefunkstelle erforderliche Polarisator, der z. B. bei Betrieb über Telstar die Aufgabe hatte [1], die vom Sender kommende vertikalpolarisierte 6-GHz-Welle in eine rechtszirkulare Welle und die in die Antenne einfallende linkszirkulare Welle in eine horizontalpolarisierte Welle umzuwandeln, mußte allerdings durch einen Polarisationsebenendreher ersetzt werden. Die Polarisationsebene des linearpolarisierten Satellitensignals stimmt nämlich nicht mit der festen Polarisationsebene von Sende- und Empfangshohlleiterzug im Betriebsraum der Erdefunkstelle überein. Die Einrichtung besteht im wesentlichen aus zwei hintereinander angeordneten Polarisatoren, die gegeneinander verdreht werden können. Wegen einer gewissen Inklination und wegen der dauernden Drift muß man die Möglichkeit haben, den Drehwinkel des Polarisationsebenendrehers der relativen Lage des Satelliten anzupassen. Bei einer Inklination von 3° und einer Wanderung des Satelliten zwischen 25° und 40° westlicher Länge ändert sich z. B. in Raisting der Drehwinkel zwischen 0° und 22°. Der jeweils erforderliche Drehwinkel wird aus den Satellitenbahndaten ermittelt und in die Programmsteuerung mit aufgenommen, so daß über einen elektromotorischen Antrieb der Polarisationsebenendreher immer automatisch in die optimale Winkelstellung gedreht wird.

Die Bahndaten, bestehend aus Azimut-, Elevations- und Polarisationswinkel im zeitlichen Abstand von 10 Minuten, werden den Erdefunkstellen vom Kontrollzentrum der Comsat in Washington über Fernschreiber übermittelt. Mit Hilfe eines Rechenprogramms werden in Raisting mit einer Datenverarbeitungsanlage die Zehnminutenwerte zu Zwanzigsekundenwerten interpoliert und unter Berücksichtigung der örtlichen atmosphärischen Refraktionsbedingungen auf Magnetband gespeichert, das dann für die Antennensteuerung zur Verfügung steht.

Die maximale Ablage beträgt bei der Programmsteuerung im praktischen Betrieb etwa 0,04°, ein Wert, der durchaus befriedigt; denn der durch eine solche Ablage bedingte Verlust bleibt dann in der 4-GHz-Empfangsrichtung unter 0,5 dB und in der 6-GHz-Senderichtung unter 1,3 dB.

3. Übertragungseigenschaften von Intelsat I

Ehe der kommerzielle Betrieb über Intelsat I aufgenommen werden konnte, war es notwendig, durch ein Versuchsprogramm die Übertragungseigenschaften des neu in Umlauf gebrachten Satelliten zu ermitteln. Es mußte festgestellt werden, ob die Kapazität von 240 Fernsprechstromkreisen erreichbar ist, welche Übertragungsqualität man bei Fernsprechen, Telegraphie und Datenübertragung erzielt und ob die Bildqualität bei Fernsehübertragungen ausreicht, um den neuen Übertragungsweg auch den Rundfunkorganisationen anbieten zu können.

Wie in der Richtfunktechnik wird auch beim Satellitenfunk Frequenzmodulation verwendet, wobei im Basisband die einzelnen Fernsprechkanäle in Abständen von 4 kHz frequenzmäßig voneinander getrennt sind. Für die 240 Fernsprechkanäle liegt das Basisband wie bei vergleichbaren Richtfunksystemen in einem Bereich von 60 bis 1052 kHz. Es wurde eine Preemphase gewählt, die der einschlägigen CCIR-Empfehlung für 240 Kanäle bei Richtfunksystemen entspricht. Den Planungen lag außerdem die CCIR-Empfehlung 353 (Genf 1963) zugrunde, wonach die Geräuschleistung in einem Satellitenstromkreis am relativen Pegel 0 den Stundenmittelwert von 10 000 pW (bewertet gemessen) nicht überschreiten soll. Für die Geräuschleistung ist im wesentlichen das thermische Rauschen im Empfangssystem der Erdefunkstelle maßgebend. Das Wärmerauschen auf dem Abschnitt Erde—Satellit muß zwar für die Gesamtverbindung ebenfalls berücksichtigt werden, ist aber nicht dominierend. Auch die auftretenden Intermodulationsprodukte sind bei der Konzeption von Intelsat I verhältnismäßig gering. Wegen der begrenzten Senderleistung im Satelliten sollte der Frequenzhub möglichst groß gewählt werden, um auf dem Übertragungsweg einen entsprechend hohen Verbesserungsfaktor und damit ein ausreichendes Signal-Rauschverhältnis in den einzelnen Fernsprechkanälen zu erzielen. Die erforderliche RF-Bandbreite darf jedoch nicht zu groß werden, da sonst die am Empfänger ankommende Trägerleistung sich nicht mehr genügend von der Rauschleistung des Systems, die proportional der Bandbreite ist [1], abhebt. Der effektive Kanalhub wurde unter Abwägung aller dieser Faktoren mit 920 kHz festgelegt. Daraus resultiert bei 240 Kanälen ein Spitzenhub von 15,70 MHz und eine erforderliche RF-Bandbreite von rund 18 MHz.

Ermittelt man für die Übertragungsstrecke Satellit — Erde aus Satelliten-Senderleistung, Gewinn beider Antennen, Funkfelddämpfung und Zuleitungsverlusten die Signalträgerleistung in der Erdefunkstelle am Masereingang, so erhält man unter bestimmten Annahmen z. B. einen Eingangspegel von — 97,8 dBm. Die Rauschleistung des Empfangssystems — ebenfalls bezogen auf den Eingang des Masers — ist N = k · T · B = — 110,7 dBm [1]. Die Trägerleistung ist also um 12,9 dB höher als die Rauschleistung. Wie aus Bild 12 hervorgeht, wurde bei — 97,8 dB Masereingangspegel und 34° Rauschtemperatur ohne FM-Gegenkopplung in einem mittleren Kanal ein Signal-Rauschverhältnis von 51,8 dB (bewertet) gemessen, mit FM-Gegenkopplung 52,8 dB. Als Rauschschwelle betrachtet man den Punkt, an dem das Signal-Rauschverhältnis um 1 dB stärker abgefallen ist, als der geradlinigen Absenkung entspricht. Bild 12 zeigt, daß der Abstand von der Rauschschwelle (ohne FM-Gegenkopplung bei — 98,0 dBm und mit FM-Gegenkopplung bei — 102,0 dBm) sehr gering ist und daß die FM-Gegenkopplung (Schwellwertverbesserung von 4 dB) notwendig ist. Ein Absinken des ankommenden Trägers und eine gelegentliche Zunahme der Rauschtemperatur des Empfangssystems würde ohne FM-Gegenkopplung oft zu Ausfällen des Übertragungssystems führen.

Ganz ähnliche Probleme hinsichtlich des Signal-Rauschverhältnisses treten auch bei Fernsehübertragungen auf. Auch hier mußte entspre-

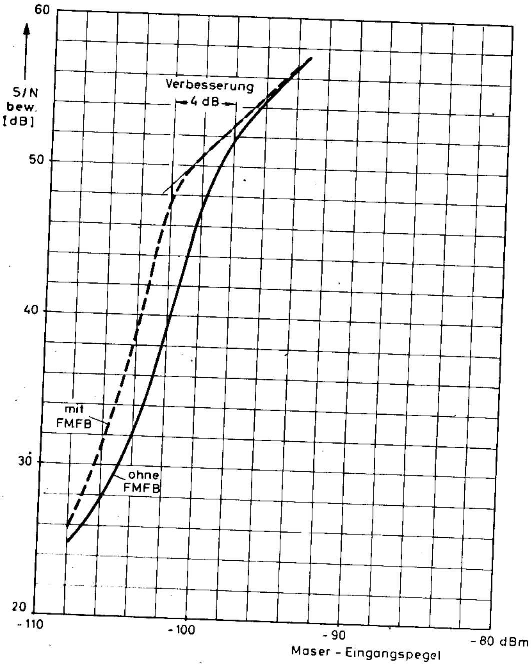


Bild 12.
Signal-Rauschverhältnis im mittleren Fernsprech-Kanal in Abhängigkeit vom Masereingangspegel;
Rauschtemperatur: 34 °K
FMFB = FM-Feedback
= FM-Gegenkopplung

chend den zu erwartenden Empfangspegeln durch Versuche ein möglichst günstiges Verhältnis von Hub, Bandbreite und Schwellwert ermittelt werden, damit bei normal auftretenden Rauschtemperaturen eine brauchbare Übertragungsqualität erreicht wird.

Die RF-Bandbreite wurde auf der Empfangsseite im ZF-Verstärker zunächst auf 16 MHz begrenzt. Da man übereinkam, Fernsehen über den Satelliten stets in 525-Zeilennorm zu übertragen, wurde die oberste Video-Frequenz mit 3,5 MHz festgelegt. Außerdem wurde die vom CCIR für diese Norm auch bei Richtfunksystemen empfohlene Preemphase verwendet. Für den Hub wurde ein Wert von 5,5 MHz gewählt. Dabei ist vorausgesetzt, daß die höheren Frequenzkomponenten im Bildsignal nie mit der maximal zulässigen Amplitude auftreten, sondern höchstens den halben Maximalwert der Spannung erreichen. Bild 13 zeigt den mit diesen Betriebsparametern erzielten Störabstand (bewertet) in Abhängigkeit vom Masereingangspegel bei einer Systemrauschtemperatur von 32° K. Der Schwellwert mit FM-Gegenkopplung liegt bei − 103,25 dBm. Die Schwellwertverbesserung beträgt 2 dB. Unter normalen Bedingungen ist mit einem Eingangspegel von − 96 bis − 99 dBm zu rechnen. Der damit erzielte Störabstand liegt zwischen 51,2 und 48,5 dB. Der vom CCIR für eine Fernsehverbindung über Satelliten empfohlene Wert von 55 dB für den Störabstand wird also nicht ganz eingehalten. Dies ist auch nicht verwunderlich, da der Satellit Intelsat I ursprünglich nicht für Fernsehübertragungen gedacht war. Die nichtlinearen Amplituden- und Laufzeitverzerrungen im Satelliten sind bei Fernsehübertragung genügend klein und mit denen einer einzigen terrestrischen Richtfunkzwischenstelle vergleichbar. Einschließlich

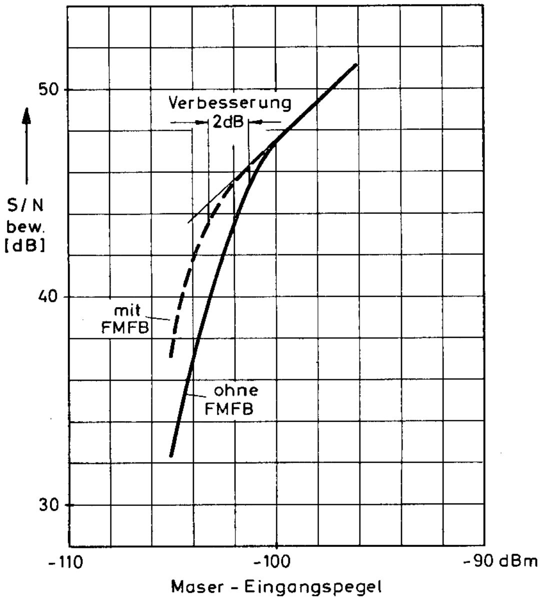


Bild 13.
Signal-Rauschverhältnis bei Fernsehübertragung in Abhängigkeit vom Masereingangspegel;
Rauschtemperatur: 32 °K

Sende- und Empfangseinrichtungen der Erdefunkstellen ergaben sich für die differentielle Verstärkung 7 % und für die differentielle Phase 4°.

Wegen der geringen Basisbandbreite von 3,5 MHz ist es nicht möglich, wie bei Telstar und Relay den Fernsehbegleitton über Intelsat I mit Hilfe eines 4,5-MHz-Tonträgers mit zu übertragen. Es wurde eine andere Lösung gefunden, die es erlaubt, den Begleitton mit einer Bandbreite von 10 kHz zu übertragen, wobei zusätzlich 2 Fernsprechkanäle für Dienstleitungen mit je einem Telegraphie-Kanal anfallen. Es wird in der ZF-Ebene ein besonderer Träger für Ton und Dienstgespräche mit 11 MHz Abstand vom Bildträger hinzugefügt (Bild 14). Damit Bild und Ton genügend entkoppelt sind, liegt der frequenzmodulierte Tonträger in der RF-Ebene um 13 dB unter dem Bildträger. Der Hub für den 1000-Hz-Testton wurde auf 22,5 kHz (Null/Spitze) festgelegt. Für den um 9 dB höher liegenden Spitzenhub erhält man dann 63,5 kHz (Null/Spitze).

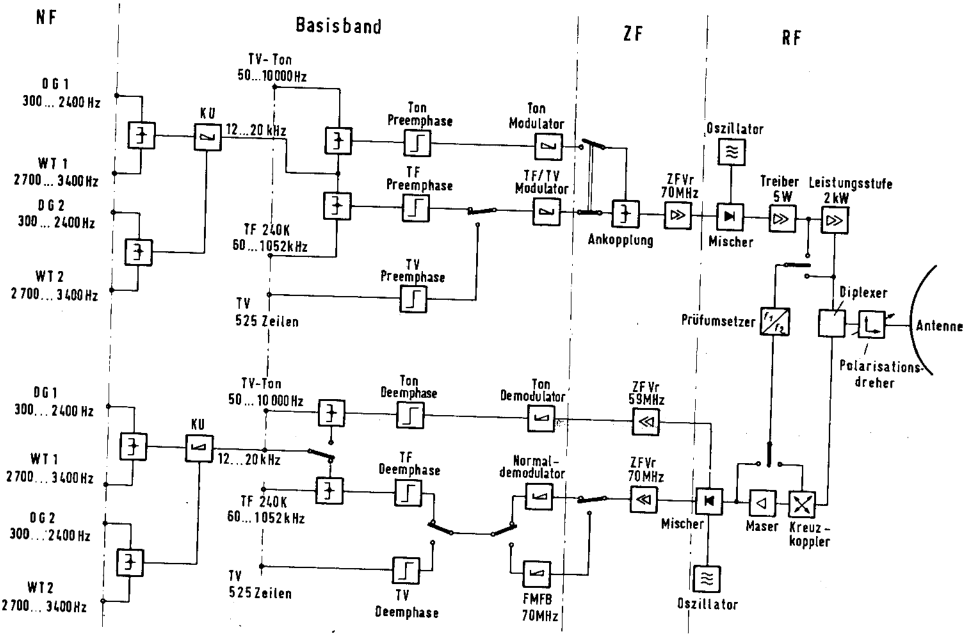

NF
Basisband
ZF
RF
TV-Ton
50...10000 Hz
DG 1
300 ... 2400 Hz
KU
12...20 kHz
Ton
Preemphase
Ton
Modulator
Oszillator
WT 1
2700 ... 3400 Hz
TF
Preemphase
TF/TV
Modulator
ZFVr
70MHz
Treiber
5W
Leistungsstufe
2 kW
DG 2
300 ... 2400 Hz
TF 240K
60...1052 kHz
Ankopplung
Mischer
WT 2
2700 ... 3400 Hz
TV
Preemphase
Diplexer
TV
525 Zeilen
Prüfumsetzer
f_1
f_2
Antenne
Polarisationsdreher
DG 1
300 ... 2400 Hz
TV-Ton
50 ... 10 000 Hz
Ton
Deemphase
Ton
Demodulator
ZF Vr
59MHz
KU
WT 1
2700 ... 3400 Hz
12...20 kHz
TF
Deemphase
Normal-
demodulator
ZFVr
70 MHz
DG 2
300 ... 2400 Hz
TF 240K
60...1052 kHz
Mischer
Maser
Kreuzkoppler
TV
525 Zeilen
WT 2
2700 ... 3400 Hz
TV
Deemphase
FMFB
70MHz
Oszillator

Bild 14. Blockschaltbild der nachrichtentechnischen Einrichtungen in Raisting

Im Rahmen der Fernsehübertragungsversuche wurde auch untersucht, ob das System für Farbfernsehen verwendbar ist. Wegen des in der amerikanischen Norm enthaltenen Farbträgers von 3,6 MHz mußte für diesen Fall die Videobandbreite auf 4,5 MHz erhöht werden. Hub und RF-Bandbreite ließ man bei 5,5 MHz bzw. 16 MHz wie bei der Schwarz-Weiß-Übertragung. Mit diesen Parametern war die Bildqualität bei − 96 dBm Empfangspegel und 34° Systemrauschtemperatur befriedigend. Am 18. 5. 1965 wurde erstmals ein Farbfernsehprogramm nach dem NTSC-Verfahren von London über Raisting nach Andover und New York zur Ausstrahlung durch die amerikanische Rundfunkgesellschaft NBC übertragen. Bei der versuchsweisen Übertragung von Farbfernsehbildern mit 625 Zeilen nach den drei Verfahren NTSC, SECAM und PAL traten wegen des größeren Bandbreitenbedarfs der 625-Zeilennorm die Rauschstörungen stärker hervor als bei der amerikanischen 525-Zeilennorm. Während die Bilder nach dem NTSC- und SECAM-Verfahren in ihrer Rauschstörung etwa gleichwertig waren, konnte für PAL eine merkliche Verbesserung durch Einfügen eines 4,5 MHz Tiefpasses in den Sendezweig des Basisbandes erzielt werden, wodurch das obere Seitenband des Farbträgers unterdrückt wird. Nur das PAL-System gestattete für das Farbsignal eine solche Einseitenbandübertragung. Die günstigsten Übertragungsbedingungen ergaben sich auch hier mit den Betriebsparametern, die bei der amerikanischen Farbnorm als optimal ermittelt worden waren, obgleich die europäischen Farbträger um 0,8 MHz höher liegen als bei der amerikanischen Norm.

Wegen der verhältnismäßig langen Laufzeit (280 ms) ist es notwendig, die Fernsprechstromkreise mit Echosperren zu versehen, die speziell für die Stromkreise über Synchronsatelliten entwickelt wurden. Es handelt sich um Differentialechosperren, die den Rückweg nicht vollständig unterbrechen, sondern nur in geeigneter Weise dämpfen. Die neuen Echosperren [5] vermitteln dem sprechenden Teilnehmer den Eindruck der Gegenwart des Gesprächspartners auf der anderen Seite und vermeiden das Zerhacken von Worten, was von anderen Echosperren und gelegentlich auch von „TASI“-Einrichtungen her bekannt ist. Während der Versuchsphase erstreckten sich die Untersuchungen auch auf Telegraphie-, Daten- und Bildübertragungen. Da unter normalen Betriebsbedingungen das Signal-Rauschverhältnis günstiger ist als bei Seekabeln und da der Übertragungsweg außerordentlich stabil ist, waren die Ergebnisse bei diesen Versuchen sehr befriedigend.

4. Europäische Zusammenarbeit beim Betrieb über Intelsat I

Der Fernmeldesatellit Intelsat I ist nicht für Mehrfachzugang geeignet. Infolgedessen entwickelte sich auf europäischer Seite von Anfang an eine sehr enge Zusammenarbeit; denn die vier Erdefunkstellen in Europa, die schon bei den NASA-Experimenten mitwirkten, sollten sich auch an der Versuchs- und Betriebsphase über Intelsat I beteiligen. Die drei vergleichbaren Breitbandstationen in Nord- und Mitteleuropa lösen sich wöchentlich ab: Eine Station ist in Betrieb, eine steht in Bereitschaft und die dritte führt Wartungs- und Unterhaltungsarbeiten durch. Die italienische Schmalbandstation, die in Verbindung mit Intelsat I maximal nur für 36 Fernsprechstromkreise und wahlweise allein in abgehender Richtung für Fernsehen ausgerüstet ist, übernimmt den Betrieb an den Wochenenden (Samstag und Sonntag).

Um diesen Betrieb durchführen zu können, wurde zwischen Paris, London und Frankfurt (M) ein Dreiecksnetz geschaltet, das auch die drei Erdefunkstellen Pleumeur Bodou, Goonhilly und Raisting miteinander verbindet (Bild 15). Eine Primärgruppe wurde außerdem zwischen Rom und Frankfurt (M) bereitgestellt, damit Italien an dem Betrieb der nord- und mitteleuropäischen Stationen teilnehmen kann. An den Wochenenden können die nördlichen Länder dadurch einige Kanäle über Rom — Fucino leiten.

Tabelle 3

Über Intelsat I fest vermietete Benutzungseinheiten für insgesamt 76 Vierdrahtstromkreise, Stand 30. Juni 1966

(Je Vierdrahtstromkreis werden zwei Benutzungseinheiten benötigt)

	Einheiten für	
	Fernsprechen	Fernschreiben
Belgien	2	—
Dänemark	1	—
Deutschland	12	2
Frankreich	12	—
Großbritannien	24	—
Irland	2	—
Italien	9	1
Niederlande	2	—
Norwegen	1	—
Österreich	1	—
Schweden	2	—
Schweiz	4	—
Spanien	1	—
USA	64	3
Insgesamt	152	

Zwischen Pleumeur Bodou und Paris sowie zwischen Raisting und Frankfurt (M) waren zunächst nur 2 Sekundärgruppen in Betrieb, so daß der Satellit nicht voll ausgenutzt werden konnte. Ende Juni 1966 war das System nur mit 76 Kanälen belegt (Tabelle 3). Trotzdem ging man im Sommer 1966 auf einen Betrieb mit 3 Sekundärgruppen über, um die bei Stationswechsel erforderlichen Umschaltungen, die auf dem Abschnitt Paris—Frankfurt (M) anfänglich mit 3 Primärgruppen abgewickelt werden mußten, zu vereinfachen. Heute sind zwischen London, Paris und Frankfurt (M) zwei und zwischen Frankfurt (M) und London eine Sekundärgruppe verfügbar. Jedes der drei Länder entnimmt seine Primärgruppen aus einer anderen Sekundärgruppe. Die vierte noch verbleibende Sekundärgruppe wird künftig benutzt, wenn durch Seekabelausfälle ein dringender Bedarf für eine größere Anzahl von Satellitenstromkreisen aufkommt. Aus Bild 15 ist auch zu ersehen, welche Länder in den Versorgungsbereich der einzelnen Erdefunkstellen fallen. Bemerkenswert ist, daß diese Länder durch Abschluß entsprechender bilateraler Vereinbarungen zu einem gewissen Prozentsatz Miteigentümer der Erdefunkstellen geworden sind, d. h., daß ihnen für die Mitbenutzung der Erdefunkstelle ein unabdingbares Recht eingeräumt wurde.

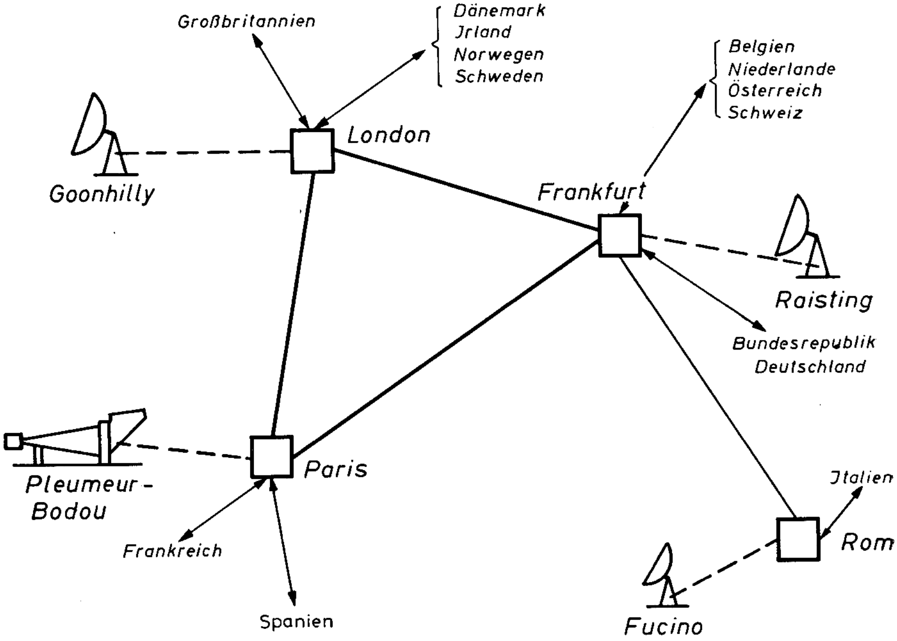

Großbritannien
Dänemark
Jrland
Norwegen
Schweden
Belgien
Niederlande
Österreich
Schweiz
London
Goonhilly
Frankfurt
Raisting
Bundesrepublik Deutschland
Pleumeur-Bodou
Paris
Jtalien
Rom
Frankreich
Spanien
Fucino

Bild 15. Europäisches Verteilnetz für Betrieb über Intelsat I

Wegen der notwendigen engen Zusammenarbeit hat man zwischen den Schaltzentren, verbunden mit den Wartungs- und Unterhaltungszentren (IMC) [6] ein ausgedehntes Dienstleitungsnetz für Fernsprechen und Fernschreiben eingerichtet (Bild 16). Die Verbindung über die Dienstkanäle des Satelliten besteht nur zwischen den betriebsführenden Erdefunkstellen; dort kann zu den übrigen Stationen durchverbunden werden.

Da der Bedarf an Satellitenstromkreisen wegen der Inbetriebnahme eines neuen Transatlantikkabels 1965/66 nicht sehr groß war, wurde der Betrieb in den Erdefunkstellen auf täglich 12 Stunden, von 13.00 bis 1.00 Uhr (MEZ), begrenzt. Bei Bedarf wird an Wochentagen in der Zeit von 10.30 bis 12.30 und von 21.30 bis 01.00 Uhr das System für Fernsehübertragungen freigegeben, an den Wochenenden (Samstag und Sonntag) von 13.00 bis 01.00 Uhr nachts. In der Zeit von 12.30 bis 21.30 Uhr sind Fernsehübertragungen über Intelsat I nur zugelassen, wenn vorher alle Verwaltungen, die in dem System Stromkreise gemietet haben, ihre Zustimmung geben. Die Verwaltungen erhalten für den Ausfall der Stromkreise während der Fernsehübertragung eine entsprechende Entschädigung.

---

[6] IMC *International Maintenance Centre*

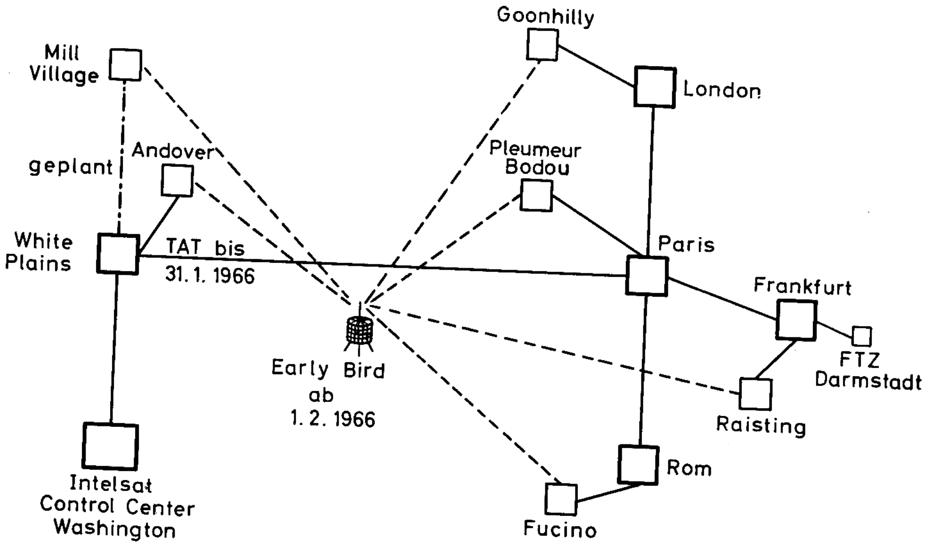

Goonhilly
Mill Village
London
geplant
Andover
Pleumeur Bodou
White Plains
TAT bis 31. 1. 1966
Paris
Frankfurt
Early Bird ab 1. 2. 1966
FTZ Darmstadt
Raisting
Rom
Intelsat Control Center Washington
Fucino

Bild 16. Dienstleitungsnetz für Intelsat I-Betrieb

Tabelle 4

Benutzung des Intelsat I für Fernsehübertragungen

	Monat	TV-Übertragungen (Anzahl)	Dauer Std. : Min.
1965	Juli	4	4 : 53
	August	1	2 : 20
	Sept.	7	4 : 25
	Okt.	6	9 : 58
	Nov.	4	2 : 48
	Dez.	13	12 : 02
1966	Jan.	3	1 : 49
	Febr.	1	2 : 00
	März	7	6 : 43
	April	3	1 : 06
	Mai	4	5 : 59
	Juni	17	14 : 44
Summe		70	68 : 07

Der Bedarf für Fernsehübertragungen ist noch nicht sehr groß. Tabelle 4 zeigt, daß im ersten Betriebsjahr nur 70 Übertragungen mit einer Gesamtdauer von 68 Stunden stattfanden.

5. Betriebserfahrungen und Zuverlässigkeit der Verbindungen über Intelsat I

In den ersten 12 Monaten war das Satellitensystem 4446 Stunden in Betrieb (Tabelle 5). Die Erdefunkstelle Raisting war dabei mit 1110 Stunden (25 %) beteiligt. Die Gesamtdauer der Störungen betrug 3100 Minuten, davon entfielen auf Raisting mit 39 Störungen 78,5 Minuten. Bezogen auf die Betriebszeit von Raisting entspricht dies einem Prozentsatz von 0,12 %. Die drei sehr kurzen Ausfälle (7 Sekunden) in den Monaten Januar, April und Mai 1966 sind beim manuellen Nachstellen der Antenne aufgetreten. In 5 Fällen konnte der Fehler nicht schnell genug beseitigt werden, so daß die in Bereitschaft stehende Erdefunkstelle Goonhilly den Betrieb übernehmen mußte. Da bei Störungen das betriebsführende IMC vor einer Betriebsumschaltung Erkundigungen über Art und Umfang des Fehlers einholt, muß in solchen Fällen immer eine Betriebsunterbrechung von etwa 10 Minuten Dauer in Kauf genommen werden. Tatsächlich verzeichnete man für Raisting anläßlich der 5 Unterbrechungen mit Umschaltung eine Störungszeit von insgesamt 51 Minuten. Die restlichen 31 Betriebsausfälle sind auf 27 Minuten verteilt, d. h., die meisten Unterbrechungen waren kürzer als 1 Minute. Es wäre also unzweckmäßig, bei jeder Unterbrechung die Betriebsführung sofort der Ersatzstation zu übertragen, da im europäischen Leitungsnetz bei Umschaltungen mehrere Stellen in verschiedenen Ländern beteiligt sind und eine schnellere Umschaltzeit kaum erreichbar ist.

Tabelle 5

Betriebs- und Ausfallzeiten des Satellitensystems mit Intelsat I und die Anteile von Raisting

Monat		Betriebszeiten Std. : Min.		Ausfallzeiten	
		System	Raisting	Gesamtsystem St. : Mi. ; Se.	Raisting Min. ; Sek.
1965	Juli	372 : 00	72 : 36	7 : 21 ; 00	5 ; 00
	Aug.	372 : 00	128 : 36	5 : 31 ; 13	21 ; 03
	Sept.	360 : 00	67 : 31	4 : 01 ; 32	19 ; 24
	Okt.	373 : 35	120 : 00	1 : 28 ; 34	0 ; 27
	Nov.	362 : 26	86 : 48	5 : 33 ; 58	21 ; 11
	Dez.	412 : 37	149 : 47	2 : 17 ; 13	0 ; 45
1966	Jan.	384 : 00	54 : 39	7 : 39 ; 03	0 ; 07
	Febr.	337 : 30	62 : 25	4 : 00 ; 08	0 ; 00
	März	374 : 51	80 : 52	3 : 48 ; 54	10 ; 20
	April	362 : 17	66 : 18	2 : 04 ; 03	0 ; 07
	Mai	374 : 08	127 : 32	4 : 15 ; 01	0 ; 07
	Juni	360 : 18	92 : 44	3 : 39 ; 48	0 ; 00
	Summe	4 445 : 42	1 109 : 48	51 : 40 ; 27	78 ; 31

Da von den Verbindungsleitungen im Landnetz meist nicht sämtliche Kanäle gleichzeitig unterbrochen sind, ist es sinnvoll, bei den Betrachtungen über die Zuverlässigkeit der Verbindungen die Kanalstunden zu Grunde zu legen. Im Mittel leistete das System im ersten Betriebsjahr monatlich 28 328 Kanalstunden. Im Monatsmittel verzeichnete man an Ausfällen 305 Kanalstunden, das sind 1,1 %. Die Kanäle standen also im Mittel in 98,9 % der vorgesehenen Betriebszeit für den kommerziellen Nachrichtenverkehr zur Verfügung. Wie sich die mittlere monatliche Ausfallrate von 305 Kanalstunden auf die Einzelabschnitte der Verbindungen verteilt, geht aus Tabelle 6 hervor.

Tabelle 6

Mittlere monatliche Ausfallrate der Satellitenstromkreise und die anteilmäßige Verteilung auf die Einzelabschnitte der Verbindungen
1. Juli 1965 bis 30. Juni 1966

	Ausfälle in Kanalstunden (Monatsmittel)	Ausfallanteil in %
Gesamtstrecke	305	100
Satellit	0	0
U.S.-Verbindungsnetz	28	9,2
Europ. Verbindungsnetz	129	42,3
Fucino	51	16,7
Raisting	8	2,6
Goonhilly	9	2,9
Pleumeur Bodou	13	4,3
Andover	67	22,0

Der hohe Störungsanteil für das europäische Verbindungsnetz zeigt deutlich, daß dieses weitverzweigte Dreiecksnetz mit seinen Schaltpunkten Paris, London, Frankfurt (M) und seinen Ausläufern zu den verschiedenen Erdefunkstellen, verglichen mit der Verbindung Andover—New York, erheblich anfälliger ist. Die Erdefunkstelle Andover, die bei Störungen keine Möglichkeit hat, den Betrieb an eine in Bereitschaft stehende Ausweichstation abzugeben, und der auch nur kürzere Betriebspausen für Wartung, Pflege und Instandsetzungen zur Verfügung stehen, weist einen höheren Anteil an Störungen auf, als den vergleichbaren Anlagen in Europa entsprechen würde. Der Satellit selbst hatte keine Störungen. Auch die Zeit, in der er während der Tag- und Nachtgleiche den Erdschatten durchläuft, wirkte sich nicht auf die Störungszeiten aus, da in den Nachtstunden die Stromkreise ohnehin abgeschaltet sind. Für Mitteleuropa beginnt die Unterbrechung von maximal 70 Minuten, die bei einem Synchronsatelliten über dem Atlantik durch den Erdschatten verursacht wird, etwa 2 bis 3 Stunden nach Mitternacht, was im Ostteil von USA einer Zeit von 4 bis 3 Stunden vor Mitternacht entspricht. Falls künftig 24-stündiger Betrieb verlangt wird, müssen die Satelliten mit Batterien ausgerüstet werden, deren Kapazität ausreicht, um die Zeit des Erdschattendurchgangs zu überbrücken. Ohne Batterien kommt es im Frühjahr und Herbst an etwa 50 Tagen während der Nachtstunden zu Betriebsunterbrechungen.

Ein weiterer zwangsläufiger Ausfall eines Systems mit äquatorial umlaufenden Synchronsatelliten wird bei Annäherung der Sonne an den Strahlungskegel der Erdefunkstellen-Antenne verursacht [6], da die Sonne eine starke kosmische Rauschquelle darstellt (Bild 17). Wenn die Winkelabweichung vom Zentrum der Sonne kleiner als 1,3° wird, nimmt das Rauschen merklich zu und bei 0,7° sind die Verbindungen bereits nicht mehr brauchbar. Bei dem Betrieb über Intelsat I wurden durch Sonnenannäherung (Bild 18) im Oktober 1965 nach 14 Uhr an drei Tagen kurze Betriebsausfälle verursacht, und an 3 weiteren Tagen kam es vorübergehend zu merklichem Geräuschanstieg, jedoch ohne Ausfall des Systems. Eine ähnliche Konstellation ist auch im Frühjahr zu beobachten. Es wäre in diesen Fällen

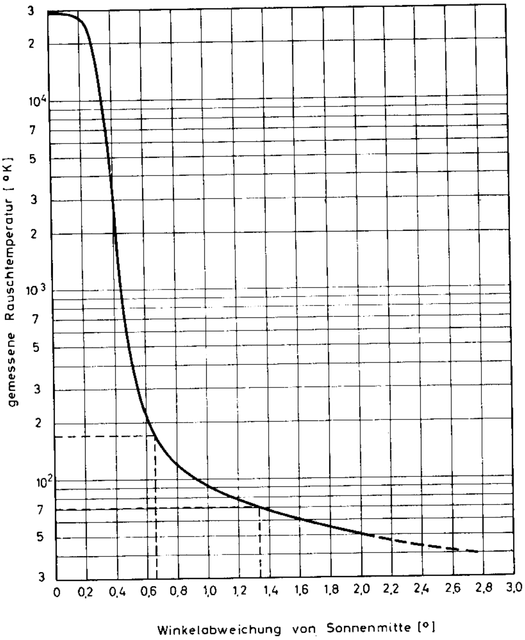


Bild 17. Anstieg der Rauschtemperatur bei Sonnenannäherung

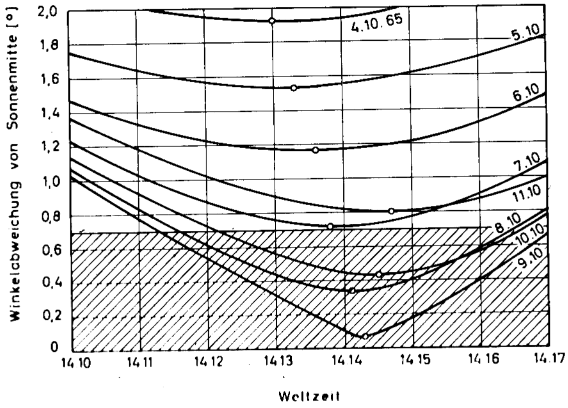


Bild 18.
Eindringen der Sonne in den Strahlungskegel der Antenne von Raisting (Oktober 1965)

möglich, den Betrieb vorübergehend an eine andere Erdefunkstelle abzugeben, da das maximale Geräusch in Goonhilly und Pleumeur Bodou etwa 5 Minuten früher auftritt als in Raisting; bisher wurde jedoch von einer Umschaltung abgesehen, da es sich nur um kurze Unterbrechungen handelt. Eine andere Möglichkeit, derartige Unterbrechungen künftig zu vermeiden, besteht darin, vorübergehend einen Ersatzsatelliten abweichender Position zu benutzen.

Das Signal-Rauschverhältnis in den Satellitenstromkreisen ist ähnlich wie bei Richtfunklinien Schwankungen unterworfen. Bei Erdefunkstellen mit Radom können wegen des Einflusses von Regen und Schnee die Schwankungen recht beträchtlich werden (Bild 7). In Raisting wurde die Systemrauschtemperatur bei verschiedenen Elevationswinkeln gemessen (Bild 19). Bei 20° Elevation wurden in 50 % der Fälle Werte unterhalb 35° K festgestellt; bei 1 % der Messungen liegen die Werte oberhalb 83° K. Die Verteilungskurven der Rauschtemperatur in Prozentsätzen der Zeit zu ermitteln, ist während des Betriebes nicht einwandfrei möglich. Die an 21 Tagen gemessene Rauschspannung in einem schmalen Frequenzband oberhalb des Basisbandes ergab in den Monaten Januar bis März 1966 die in Bild 20 dargestellte Verteilung. Da oberhalb des Basisbandes die Intermodulationsanteile gering sind, kann man aus der Kurve auf den zeitlichen Verlauf der Systemrauschtemperatur schließen. Einen weiteren Anhaltspunkt für den zeitlichen Verlauf der Systemrauschtemperatur könnten bis zu einem gewissen Grade auch die Verteilungskurven für Niederschläge ergeben, jedoch läßt sich daraus keine einfache Beziehung herleiten, weil Tropfengröße, Windstärke und Windrichtung sowie Wasserfilm- und Wasserstreifenbildung auf der Radomhülle einen wesentlichen Einfluß haben. Obgleich im ersten Betriebsjahr die Erdefunkstelle Raisting in keinem Falle wegen starker Niederschläge den Betrieb an eine andere Erdefunkstelle abgeben mußte, wird erwogen, in Raisting bei einer weiteren Breitbandanlage auf ein Radom zu verzichten, um die Verschlechterung der Übertragungsqualität bei Regen zu vermeiden.

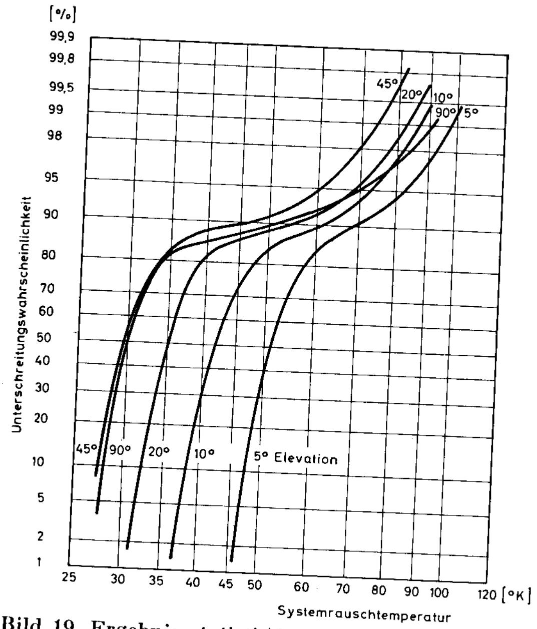


Bild 19. Ergebnis statistischer Rauschtemperaturmessungen in Raisting

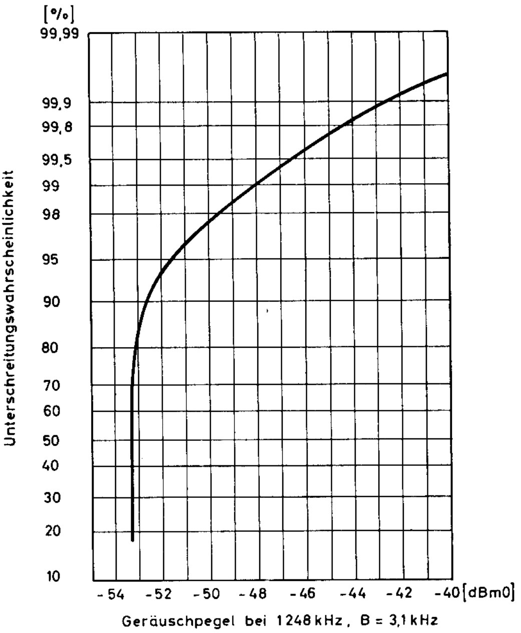


Bild 20. Rauschverteilung in einem 3,1 kHz breiten Frequenzband, unbewertet gemessen oberhalb des Basisbandes bei 1248 kHz

In der Schaltzentrale Frankfurt (M) wurden in den Hauptverkehrsstunden an einigen Tagen in einem Kanal bei 153 kHz die Geräuschspannungen bewertet gemessen. Dabei wurde festgestellt, daß in 50 % der Zeit das Signal-Rauschverhältnis besser als 54 dB und in 80 % der Zeit besser als 50 dB war. In 1 % der Zeit lag der Wert unterhalb 42 dB. Bei diesen Messungen, die keineswegs schon ein endgültiges Urteil zulassen, konnte man nicht erkennen, daß die Wahl der Erdefunkstelle auf den Verlauf des Signal-Rauschverhältnisses einen Einfluß hat. Um festzustellen, ob die Geräuschbedingungen, die von der XI. Vollversammlung des CCIR in Oslo festgelegt wurden, in Raisting bereits bei Verbindungen über Intelsat I eingehalten werden, bedarf es noch sehr langwieriger Messungen, die jedoch erst durchgeführt werden können, wenn die erforderlichen Spezialmeßgeräte verfügbar sind. Nach dieser neuen Empfehlung des CCIR für den hypothetischen Satellitenbezugskreis sollen, ohne Einschluß von entsprechenden Geräuschanteilen für zusätzliche Landleitungen und Trägerfrequenzeinrichtungen, folgende Werte für die Geräuschleistung am relativen Pegel 0 in einem beliebigen Fernsprechkanal nicht überschritten werden:

10 000 pW	bewertet gemessene mittlere Geräuschleistung im Verlauf einer beliebigen Stunde.
10 000 pW	bewertet gemessene mittlere Geräuschleistung während einer Minute in nicht mehr als 20 % der Zeit innerhalb eines beliebigen Monats.
50 000 pW	bewertet gemessene mittlere Geräuschleistung während einer Minute in nicht mehr als 0,3 % der Zeit innerhalb eines beliebigen Monats.
1 000 000 pW	unbewertet gemessene Geräuschleistung (gemessen mit einer Integrationszeit von 5 ms) in nicht mehr als 0,03 % der Zeit innerhalb eines beliebigen Monats.

Messungen in Goonhilly über 350 Stunden während der Monate August bis Dezember 1965 lassen erkennen, daß diese Werte bei den Verbindungen über Intelsat I in der englischen Erdefunkstelle über längere Zeiträume nicht überschritten wurden. Die Untersuchungen werden jedoch auch in Großbritannien noch fortgesetzt.

6. Ergebnis der Laufzeituntersuchungen

Nach der Empfehlung G. 114 des CCITT kann bei einer Laufzeit von mehr als 150 ms zwischen zwei Teilnehmern die flüssige Gesprächsabwicklung auch bei Verwendung von Echosperren bereits beeinträchtigt werden. Um Synchronsatelliten und andere Systeme mit Satelliten in mittleren Höhen nicht von vornherein vom kommerziellen Fernmeldeverkehr auszuschließen, hat man Verbindungen mit einer Signallaufzeit von 150 bis 400 ms noch für die Fälle zugelassen, in denen sich aus der längeren Laufzeit anderweitige Vorteile ergeben. Werte oberhalb 400 ms werden als nicht mehr tragbar angesehen und können nur in seltenen Ausnahmefällen eingeplant werden. Da diese Werte noch provisorischen Charakter haben und eine endgültige Entscheidung im CCITT noch aussteht, hat man mit Hilfe der Intelsat I-Stromkreise (Laufzeit ohne Berücksichtigung zusätzlicher Landleitungen: 280 ms) sehr umfangreiche Untersuchungen angestellt, um zu ermitteln, welche Schwierigkeiten bei den Teilnehmern auftreten können.

In USA und in Großbritannien hat man mehrere Tausend Fernsprechteilnehmer im Anschluß an Gespräche über Atlantikkabel und über Satelliten angerufen und sie nach ihrer Meinung hinsichtlich der Übertragungsqualität während ihres vorangegangenen Gesprächs befragt, ohne zu erwähnen, daß es sich um eine Kabel- oder Satellitenverbindung handelte. Es wurde von den Teilnehmern eine bestimmte, genau festgelegte Benotung für das Gespräch erbeten, und zwar sollte die Qualität der Verbindung durch folgende Begriffe eingestuft werden: Ausgezeichnet = 4, Gut = 3, Befriedigend = 2 und Schlecht = 1. Eine Zusammenstellung amerikanischer Befragungsergebnisse, bei der 1294 Gespräche über Atlantikkabel und 1335 Gespräche über Satelliten ausgewertet wurden, ist in Tabelle 7 angegeben.

In der Bundesrepublik Deutschland wurden die Teilnehmer nicht befragt. Hier ging man einen anderen Weg, um sich ein Bild über die Brauchbarkeit der Satellitenstromkreise zu verschaffen. In einer sehr aufwendigen Versuchsserie wurden 4622 Gespräche über Intelsat I vermittelt. Dabei wurde registriert, ob die Teilnehmer Einwände vorzubringen haben, ob sie sich über schlechte Verständigung beklagen oder ob die Verbindungen wegen schlechter Verständigung oder Unterbrechung unmittelbar wiederholt werden mußten. 4424 Gespräche = 95,7 % verliefen ohne Einwände, 120 Gespräche = 2,6 % mit schlechter Verständigung und 78 Gespräche = 1,7 % mußten wegen Unterbrechungen unmittelbar danach erneut hergestellt werden. Zum Vergleich wurde eine größere Anzahl von Kabelverbindungen über den Atlantik herangezogen. Es zeigten sich keine bemerkenswerten Unterschiede in der prozentualen Verteilung. Bei 4,4 % der Kabelverbindungen lag eine schlechte Verständigung vor oder es mußte nach einer Unterbrechung die Verbindung wieder neu aufgebaut werden.

Tabelle 7

Ergebnisse einer Meinungsbefragung in USA im Anschluß an Atlantikgespräche

	Kabel	Satellit
Anzahl der Befragungen	1 294	1 335
Prozentsatz der Teilnehmer, die Schwierigkeiten angaben	12,1	25,2
Prozentsatz „Ausgezeichnet“	45,7	35,4
Prozentsatz „Gut“	40,7	41,7
Prozentsatz „Befriedigend“	8,1	14,1
Prozentsatz „Schlecht“	4,4	8,1
Beurteilung nicht eindeutig in %	1,1	0,7
Durchschnittsnote aller Gespräche	3,59	3,05
Durchschnittsnote der Gespräche ohne Schwierigkeiten	3,46	3,38
Durchschnittsnote der Gespräche mit Schwierigkeiten	2,03	2,06

Dem Teilnehmer wird die Laufzeitverzögerung offenbar nicht bewußt, oder er stellt sich sehr schnell darauf ein, so daß die längere Laufzeit subjektiv nicht als störend empfunden wird.

V. Satellitenstromkreise für Apollo-Projekt der NASA über Intelsat II

Um ihr ausgedehntes Fernmeldenetz für das Apolloprojekt zwischen der Leitstelle in Houston (Texas) und den verschiedenen Kontrollstationen, die mit den bemannten Raumkapseln in Verbindung stehen, zu ergänzen, wird sich künftig die NASA einiger Satellitenstromkreise bedienen, die über Satelliten von Intelsat geführt sind. Hierfür wurden zu Beginn des Jahres 1967 über dem Atlantik und über dem Pazifik je ein Synchronsatellit vom Typ Intelsat II in äquatorialer Umlaufbahn eingesetzt (Bild 21).

Im Gegensatz zum Fernmeldesatelliten Intelsat I hat Intelsat II keine „schielende“ Sendeantenne. Es werden vielmehr Nord- und Südhalbkugel der Erde in gleicher Weise ausgeleuchtet (Bild 21). Neben Brewster (USA) und Andover, wo für den Betrieb über Intelsat II eine besondere Antennenanlage errichtet wurde, sind drei Erdefunkstellen in Australien und auf Inseln im Pazifik bzw. Atlantik beteiligt. Außerdem sind 3 Erdefunkstellen auf Schiffen im Pazifik und im Atlantik stationiert.

Der Satellit Intelsat II stellt eine Fortentwicklung von Intelsat I dar. Der Frequenzbereich der Transponder wurde erweitert. Auf eine ZF-Verstärkung mit Begrenzer wurde verzichtet (Bild 22). Durch den Fortfall der Begrenzung konnte die Verstärkung hinreichend lineari siert werden, um den Satelliten mit mehreren getrennten Trägern gleichzeitig zu betreiben, ohne daß die Intermodulationsprodukte eine unzulässige Zunahme der Geräusche in den einzelnen Fernsprechkanälen zur Folge haben. Dadurch ist es bei nur geringer Einbuße an Fern-

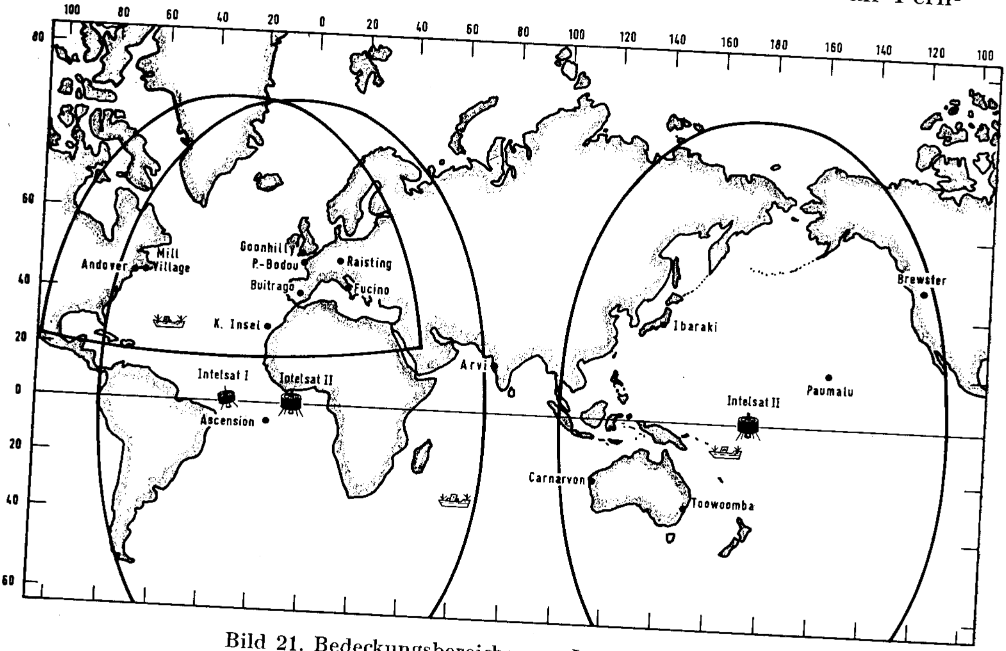

100
80
60
40
20
0
20
40
60
80
100
120
140
160
180
160
140
120
100
80
60
40
20
0
20
40
60
Andover
Mill Village
Goonhilly
P.-Bodou
Raisting
Buitrago
Fucino
K. Insel
Intelsat I
Intelsat II
Ascension
Arvi
Ibaraki
Brewster
Paumalu
Intelsat II
Carnarvon
Toowoomba

Bild 21. Bedeckungsbereiche von Intelsat I und II

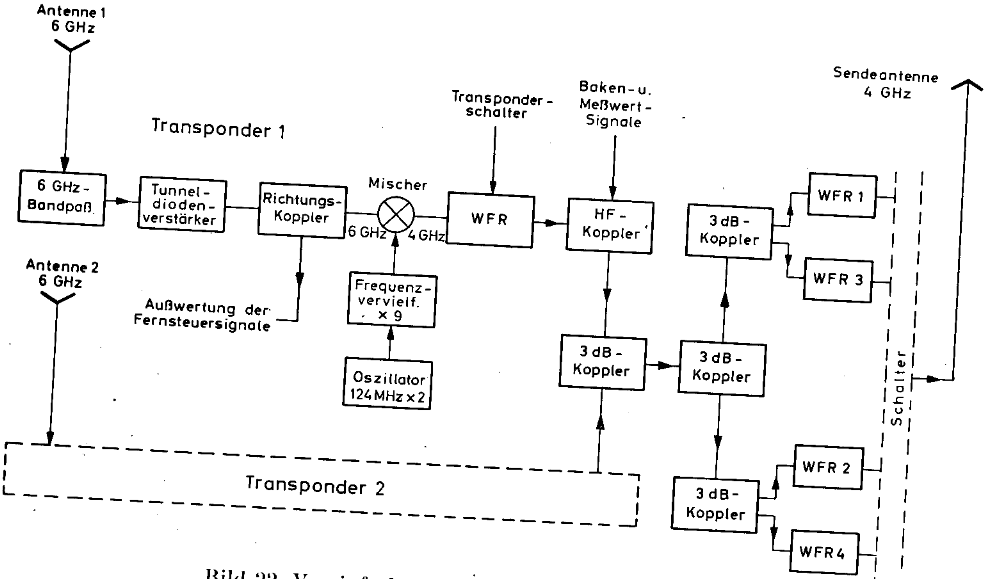

Antenne 1
6 GHz
Transponder 1
6 GHz-Bandpaß
Tunneldiodenverstärker
Richtungs-Koppler
Mischer
6 GHz
4 GHz
Transponderschalter
WFR
Baken- u. Meßwert-Signale
HF-Koppler
Sendeantenne
4 GHz
3 dB-Koppler
WFR 1
WFR 3
Antenne 2
6 GHz
Auswertung der Fernsteuersignale
Frequenzvervielf. × 9
Oszillator 124 MHz × 2
3 dB-Koppler
3 dB-Koppler
Schalter
Transponder 2
3 dB-Koppler
WFR 2
WFR 4

Bild 22. Vereinfachtes Blockschaltbild von Intelsat II sprechkanälen möglich, den Satelliten für Mehrfachzugang, also zwischen mehreren Erdefunkstellen gleichzeitig, zu benutzen. Die Leistung jedes einzelnen Trägers richtet sich nach der jeweiligen Kanalzahl. Neben den Stromkreisen für die Belange der NASA bleibt ein Teil der Satellitenkapazität für kommerzielle Zwecke zwischen anderen Erdefunkstellen verfügbar.

Solange das für die Signalübertragung vorgesehene Frequenzband der Satellitentransponder genügend breit ist, wird die Kapazität von Fernmeldesatelliten im wesentlichen durch die vom Satelliten abgestrahlte Sendeleistung bestimmt. Deshalb hat man bei Intelsat II für die Benutzungseinheit, nach der die Gebühr für den Satelliten bestimmt wird, eine Definition gewählt, die auf der Leistungsdichte des Trägers an der Erdoberfläche beruht: Eine Benutzungseinheit entspricht derjenigen Leistungsdichte, die bei ungestörter Ausbreitung in einer Standarderdefunkstelle erforderlich ist, um an einem Ende eines Vierdraht-Fernsprechstromkreises ein Signal-Rauschverhältnis von 50 dB zu erzielen. Der numerische Wert dieser Leistungsdichte beträgt $-176{,}5\ \mathrm{dBW/m^2}$. Die charakteristischen Werte der Standarderdefunkstelle sind dabei: $G/T = 40{,}7$ dB, Demodulator mit FM-Gegenkopplung und mit einer Rauschschwelle, die 6 dB unter dem bei klarem Wetter zu erwartenden Eingangspegel liegt.

Für einen Vierdrahtstromkreis werden nach obiger Definition zwei Benutzungseinheiten benötigt. Die von Intelsat II abgestrahlte Leistung reicht in Verbindung mit einer Standarderdefunkstelle ebenso wie bei Intelsat I für 240 Fernsprechstromkreise aus; die Kapazität beträgt also in beiden Fällen 480 Benutzungseinheiten. Die Jahresmiete für eine Einheit betrug vom 28. Juni bis 31. Dezember 1965 32 000 $ und wurde anschließend auf 20 000 $ herabgesetzt.

Mit einer nach Norden „schielenden“ Antenne würde Intelsat II etwa 480 Kanäle oder 960 Benutzungseinheiten ergeben. Da bei den NASA-Erdefunkstellen wegen kleinerer Antennen (12 m ⌀ und bei Schiffsstationen 9 m ⌀) und weniger rauscharmer Eingangsverstärker Antennengewinn und Systemrauschtemperatur erheblich niedriger sind als bei der Standarderdefunkstelle, werden zur Bildung eines Vierdraht-Fernsprechstromkreises nicht zwei, sondern 34,1 Benutzungseinheiten benötigt, wenn eine Endstelle mit einer Antenne von 9 m Durchmesser mit einer Gegenstelle zusammenarbeitet, deren Antenne einem Durchmesser von 12 m entspricht. Hierbei ist bereits berücksichtigt, daß die NASA sich mit einem Signal-Rauschverhältnis von 44 dB in den Fernsprechkanälen begnügt. Für 7 Stromkreise der NASA wird also in den beiden Bereichen „Pazifik“ und „Atlantik“ etwa die halbe Kapazität des Satelliten verbraucht.

Wie aus dem Blockschaltbild (Bild 22) zu ersehen ist, hat Intelsat II zwei getrennte Transponder, die wahlweise betrieben werden. Auf der Empfangsseite werden zwei getrennte Antennen verwendet, um eine mit Dämpfung verbundene Verzweigung zu vermeiden. Im Eingang ist ein Tunneldiodenverstärker enthalten und nach der Mischung schließt sich ein Verstärker mit Wanderfeldröhre an. Hinter Kopplern werden die Signale in mehreren parallel geschalteten Wanderfeldröhren verstärkt und der 4-GHz-Sendeantenne zugeführt. Die Parallelschaltung mehrerer Wanderfeldröhren ist bei ausgesuchten Röhren möglich. Da jede Wanderfeldröhre einzeln zu- und abschaltbar ist, stellt die wahlweise Parallelschaltung gleichzeitig eine günstige Reserveschaltung dar; denn die volle Kapazität des Satelliten wird bereits mit 3 Wanderfeldröhren erreicht. Die Stromaufnahme für die elektrische Ausrüstung des Satelliten liegt bei 85 W. Die Stromquelle besteht aus 12 756 Silizium-Sonnenzellen, die am äußeren Mantel befestigt sind. Die im Satelliten enthaltenen Batterien sind so dimensioniert, daß während der bis zu 70 Minuten dauernden Eklipse keine Unterbrechung des Betriebes zu erwarten ist. Allerdings wird man bei den längeren Durchgängen durch den Erdschatten im Ausgang nur mit zwei Wanderfeldröhren arbeiten,

Tabelle 8

Beispiel einer Belegung von Intelsat II (s. Bild 21)

Empfang MHz	Sendung MHz	eirp Watt	Kanäle Anzahl	Sendestation	Empfangsstation
6 283	4 058	1,0	Bake		
6 289	4 064	11,62	14	Andover	für NASA
6 301	4 076	1,37	7*	K. Insel	Andover
6 309	4 084	1,37	7*	Schiff 1	Andover
6 317	4 092	1,37	7*	Schiff 2	Andover
6 325	4 100	1,37	7*	Ascension	Andover
6 332,5	4 107,5	1,2	24**	Fucino	Mill Village
6 338,7	4 113,7	1,2	24**	Venezuela	Nord-Amerika
6 347,8	4 122,8	3,0	60**	Europa	Nord-Amerika
6 357,9	4 132,9	1,8	36**	Buitrago	Mill Village
6 368	4 143	3,0	60**	Mill Village	Fucino Buitrago
6 374,75	4 149,75	0,25	1 Ton + 2***	Europa	Nord-Amerika
6 385,75	4 160,75	3	60**	Nord-Amerika	Europa
6 396,7	4 171,7	10	1 TV	Europa	Nord-Amerika
		0,25	2***	Europa	Nord-Amerika
6 400,6	4 175,6	1,2	24**	Nord-Amerika	Venezuela
6 407	4 182	1,0	Bake		

* Diese Frequenzen werden nicht gleichzeitig benutzt
** Betrieb bei TV nicht möglich
*** Dienstkanäle während der Fernsehübertragung

was für diese kurze Zeit eine Zunahme des Geräusches oder eine Verminderung der Kanalkapazität zur Folge hat. Zur Signalübertragung in der Startphase ist bei Intelsat II ein Sender von 136 MHz vorgesehen, der später abgeschaltet wird, da Signalisierung und Fernsteuerung dann über Frequenzen des 4- bzw. 6-GHz-Bereichs durchgeführt werden. Die Lebensdauer von Intelsat II ist mit 3 Jahren veranschlagt.

Nach Inbetriebnahme von Intelsat II über dem Atlantik wird es nicht mehr notwendig sein, während Fernsehübertragungen den Fernsprechbetrieb über Intelsat I zu unterbrechen; denn die von Intelsat II verfügbare Kapazität wird nach dem jetzt überschaubaren Bedarf bis zur Verwirklichung eines leistungsfähigen weltweiten Systems im Jahre 1968 für Fernsprechen und Fernsehen ausreichen. Auf europäischer Seite werden sich an dem Betrieb über Intelsat II Spanien und Italien beteiligen. Die drei nördlichen europäischen Erdefunkstellen werden den abwechselnden Betrieb über Intelsat I fortsetzen. Nur bei gelegentlichen Fernsehübertragungen wird eine Station, die nicht gerade für den Fernsprechverkehr betriebsführend ist, vorübergehend Intelsat II benutzen.

Wie die Frequenzen für die verschiedenen Träger in dem für die Übertragung verfügbaren Frequenzband des Transponders gewählt werden können, zeigt Tabelle 8 für den Satelliten Intelsat II über dem Atlantik. Darin ist auch angegeben, welche abgestrahlte Leistung den einzelnen Trägern entsprechend ihrem Verwendungszweck zugeordnet wird, um an dem gewünschten Empfangsort die erforderliche Leistungsdichte zu erzeugen.

VI. Der Stand der Vorbereitungen für das im Jahre 1968 zu erwartende weltweite kommerzielle Fernmeldesatellitensystem

Die Mitgliedsländer von Intelsat streben an, gegen Ende des Jahres 1967 ein weltweites Fernmeldesatellitensystem für kommerzielle Zwecke in Betrieb zu nehmen. Als Vorstufe für die Entwicklung von möglichst vielseitig verwendbaren Fernmeldesatelliten hat die Comsat bereits im Jahre 1964 an 3 amerikanische Firmengruppen Entwicklungsstudien vergeben. Es sollten Satelliten mit und ohne Bahnsteuerung untersucht werden sowie Satelliten mit Spinstabilisierung und solche mit einer Lagestabilisierung, die auf dem Schwerefeld der Erde beruht. Bei diesen Studien hat man sich noch nicht auf spezielle Umlaufbahnen festgelegt. Die Satelliten sollten daher für niedrige und mittlere Höhen geeignet sein und nach entsprechender Modifikation auch für den synchronen Umlauf in etwa 36 000 km Höhe über der Erdoberfläche. Einen weiten Raum nahm bei diesen Studien auch die Frage des Mehrfachzugangs ein; denn Satelliten eines weltumspannenden Systems dürfen sich nicht nur wie Intelsat I auf Punkt-zu-Punkt-Verbindungen beschränken. Aus den Ergebnissen dieser 3 grundlegenden Studien wurde im technischen Unterausschuß (ICSC/T) ein Pflichtenheft erarbeitet. Es diente als Grundlage für die Ausschreibung und Vergabe einer Reihe von Satelliten vom Typ Intelsat III, die für das erste weltweite Satellitenfernmeldesystem bestimmt sind. Die ersten Satelliten dieser Art werden im Sommer 1968 ausgeliefert.

1. Charakteristische Merkmale von Intelsat III

Wie bei Intelsat II wird auch bei Intelsat III in den Transpondern auf eine Begrenzung verzichtet, so daß eine ausreichende Linearität für die Verstärkung einer größeren Anzahl von Trägern erzielt wird. Die zu erwartende Kapazität entspricht 2400 Benutzungseinheiten, so daß man mit Standarderdefunkstellen 1200 Fernsprechkanäle erhält. Für Einweg-TV-Übertragung benötigt man 600 Benutzungseinheiten. Neben einem TV-Kanal verbleibt in dem Satelliten also noch eine Kapazität von 1800 Benutzungseinheiten für andere Zwecke. Intelsat III hat zwei vollständig getrennte Transponder mit getrennten

Tabelle 9

Charakteristische Merkmale der Fernmeldesatelliten von Intelsat

Typ	Intelsat I	Intelsat II	Intelsat III
Start	6. 4. 1965	Anfang 1967	Mitte 1968
Gewicht	68 kg	159 kg	113 kg
Durchmesser	73 cm	142 cm	142 cm
Höhe	59 cm	66,8 cm	94 cm
Verstärkung der Transponder	nicht linear	linear	linear
Bandbreite der Transponder	2×31 MHz	2×126 MHz	2×225 MHz
Empfänger-Rauschzahl	8,5 dB	6 dB	6,5 dB
Vielfachzugang	nein	ja	ja
Antennengewinn			
Senden 4 GHz	9 dB	5 dB	15 dB
Empfang 6 GHz	4 dB	4 dB	15 dB
Polarisation	linear	linear	zirkular
Senderleistung			
a) Fernmeldeteil bei einem Träger	1 × 4 W	1 × 18 W	2 × 11 W
b) Bake bei 4 GHz	40 mW	350 mW	426 mW
Bake bei 136 MHz	1,8 W	1,7 W	—
Leistungsaufnahme	45 W	83 W	86 W
Batterien	1,5 Ah	2 Ah	8 Ah
Lebensdauer	1,5 Jahre	3 Jahre	5 Jahre

Tabelle 10

Kapazität, Frequenzen, abgestrahlte Leistung und Hersteller der Satelliten von Intelsat

Typ	Intelsat I		Intelsat II	Intelsat III	
Kapazität	240 Kanäle oder 2 × TV		240 Kanäle oder 2 × TV	1 200 Kanäle oder 4 × TV	
Frequenz (MHz)	Transp. 1	Transp. 2	Transp. 1 und 2	Transp. 1	Transp. 2
Sender	4 160,75	4 081	4 058 — 4 184	3 705—3 930	3 970—4 195
Empfänger	6 389,97	6 301,02	6 283 — 6 409	5 930—6 155	6 195—6 420
Bake	4 137,86	4 104,14	4 050 u. 4 182	3 933 — 3 967	
Abgestrahlte Leistung (eirp)	10 dBW/Transponder bei 2 RF-Trägern		14 dBW bei mehreren RF-Trägern	22 dBW/Transponder bei mehreren RF-Trägern	
Hersteller	Hughes Aircraft Company, USA		Hughes Aircraft Company, USA	Thompson Ramo Wooldridge, USA	

Endstufen, die unabhängig voneinander gleichzeitig betrieben werden können. Das für Signalübertragung verfügbare Frequenzband beider Transponder ist je 225 MHz breit. Die charakteristischen Merkmale der 3 Intelsat-Satellitentypen sind in den Tabellen 9 und 10 gegenübergestellt. Auch bei Intelsat III handelt es sich um einen Satelliten mit Spinstabilisierung. Diese Art der Lagestabilisierung hat sich bisher am besten bewährt und ist mit dem geringsten Risiko verknüpft. Auch die Erde ist spinstabilisiert! Im Gegensatz zu seinen Vorgängern hat Intelsat III jedoch für Empfang und Sendung Antennen mit einer sehr ausgeprägten Richtcharakteristik (Despun-Antennen). Die Hauptstrahlrichtung derartiger Antennen ist trotz der Spinbewegung des Satelliten durch eine elektronisch gesteuerte Schaltvorrichtung oder z. B. durch einen zur Spinbewegung gegenläufig rotierenden Reflektor stets zur Erde hin ausgerichtet.

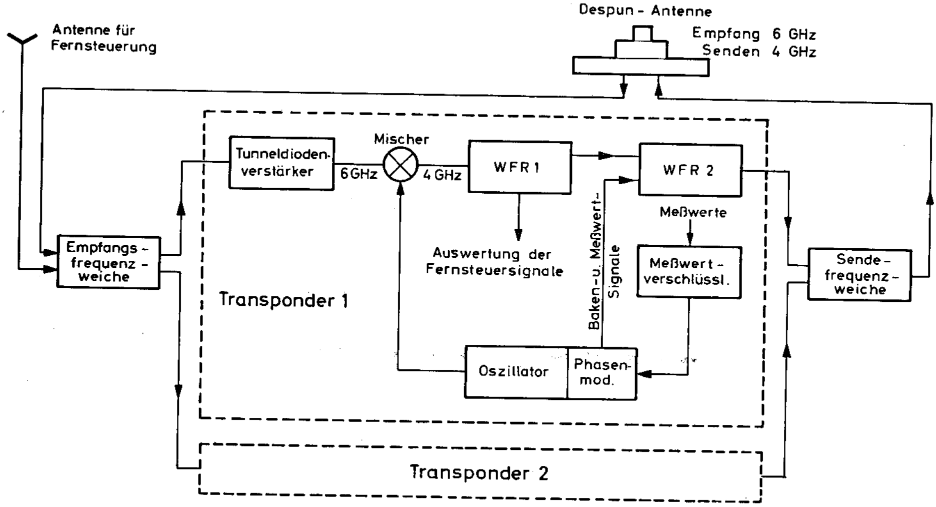

Despun - Antenne
Empfang 6 GHz
Senden 4 GHz
Antenne für Fernsteuerung
Tunneldioden-verstärker
Mischer
6 GHz
4 GHz
WFR 1
WFR 2
Meßwerte
Auswertung der Fernsteuersignale
Baken-u. Meßwert-Signale
Meßwert-verschlüssl.
Empfangs-frequenz-weiche
Transponder 1
Oszillator
Phasen-mod.
Sende-frequenz-weiche
Transponder 2

Bild 23. Vereinfachtes Blockschaltbild von Intelsat III

Wie aus dem Blockschaltbild (Bild 23) zu ersehen ist, werden im 6-GHz-Eingang über eine Frequenzweiche die Signale für den Transponder des oberen und des unteren Bereichs getrennt. Wie bei Intelsat II ist auch hier im Eingang ein Tunneldiodenverstärker vorgesehen. Im Anschluß an den Mischer erfolgt die Verstärkung in zwei hintereinander geschalteten Wanderfeldröhren. Signalisierung und Fernsteuerung liegen nur im 4- und 6-GHz-Bereich. Auf einen Sender im 136-MHz-Bereich wurde also verzichtet. Die Senderleistung beträgt etwa 10 bis 11 Watt. Am Ausgang werden die Übertragungswege beider auf verschiedenen Frequenzen arbeitenden Transponder über eine Frequenzweiche vereinigt. Bei Ausfall eines Transponders kann der Satellit mit halber Kapazität weiter betrieben werden. Die Batterien sind so dimensioniert, daß Betriebsausfälle während der Eklipse vermieden werden. Die Lebensdauer von Intelsat III wird auf 5 Jahre geschätzt.

2. Planungsgrundlagen für das erste weltweite Satellitensystem

Nachdem man sich mit Intelsat III für Fernmeldesatelliten entschieden hatte, die auf beliebigen Umlaufbahnen die Erde umkreisen können und die in Verbindung mit Standarderdefunkstellen eine Kapazität von 1200 Fernsprechkanälen aufweisen, war es notwendig, möglichst genaue Unterlagen über den künftigen Bedarf an Stromkreisen über Satelliten zu ermitteln. Nur mit Unterlagen, die einen Überblick über den zu erwartenden interkontinentalen Verkehr ermöglichen, kann man ein Satellitensystem planen, das diesem Verkehr gewachsen ist und in betrieblicher und wirtschaftlicher Hinsicht befriedigt. Ein solches System muß auch so flexibel sein, daß es bei einer stärkeren Verkehrsentwicklung den veränderten Verhältnissen leicht angepaßt werden kann, z. B. durch den Start von Ergänzungssatelliten.

Als Grundlage für diese Systemstudien dienten die Verkehrszahlen, die im Plankomitee des CCITT/CCIR bei einer Tagung in Rom im Jahre 1963 zusammengestellt worden waren. Sie lassen im einzelnen den zu erwartenden Verkehrszuwachs bis 1968 und 1975 erkennen. Neben den Fernsprechstromkreisen sind in den Zusammenstellungen auch Stromkreise für Telegraphie- und Datenübertragung enthalten. Bei der Abschätzung des über Satelliten zu führenden Verkehrs ist jedoch zu berücksichtigen, daß besonders für die Linien hoher Verkehrsdichte in Zukunft auch Seekabel großer Kapazität etwa mit 720 Stromkreisen verfügbar sein werden. Man dürfte in derartigen Fällen aus Sicherheitsgründen (z. B. im Verhältnis 1 : 1) auch Satelliten-Übertragungswege mit einplanen. Das Ergebnis dieser Verkehrsvorausschau zeigt in vereinfachter Darstellung Bild 24. Berücksichtigt sind hierbei

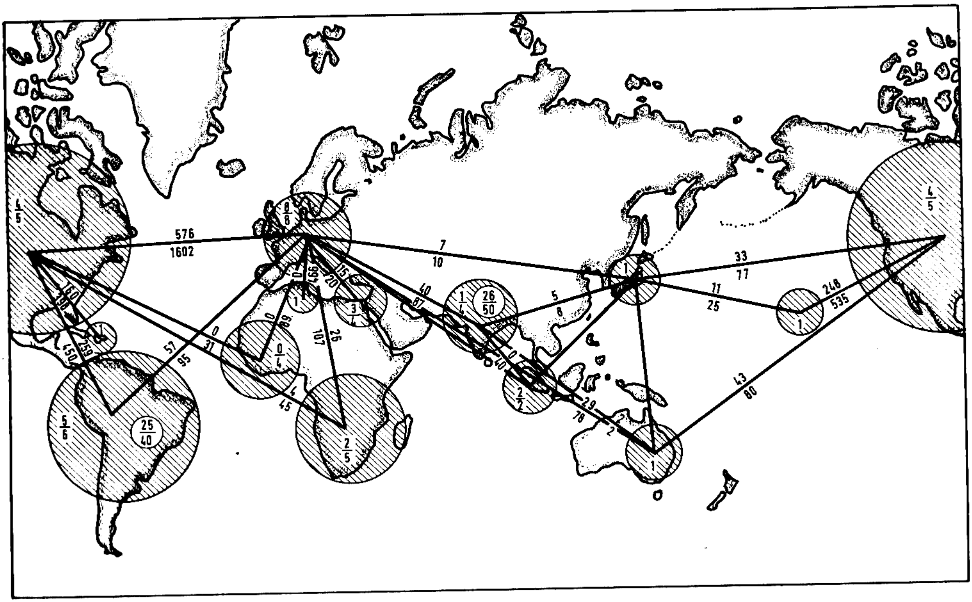


Bild 24. Verkehrsvorausschau für Satellitenstromkreise 1970/75

nur solche Stromkreise, die voraussichtlich über Satelliten geführt werden. Die oberen Zahlen gelten jeweils für 1970 und die unteren für 1975. Die Zahlen in den kleinen Kreisen einiger Regionen deuten auf internen Satellitenverkehr hin. Die Zahlenangaben in den verschiedenen Regionen geben an, mit wieviel Erdefunkstellen gerechnet wird. Dabei bleibt offen, welches Land in einem bestimmten Bereich eine Erdefunkstelle errichtet und welches Land seinen Verkehr zunächst über eine benachbarte Erdefunkstelle abzuwickeln gedenkt. Mit diesen Annahmen wurden einige Satellitensysteme unter den verschiedensten Gesichtspunkten sehr eingehend untersucht und die Vor- und Nachteile gegeneinander abgewogen, um zu einer endgültigen Entscheidung für ein bestimmtes System zu gelangen. Satelliten auf Zufallsbahnen, also ohne die Möglichkeit einer vom Boden aus steuerbaren Korrektur der Umlaufbahn, wurden nicht mehr in Erwägung gezogen. Die Erfahrung hat gezeigt, daß sich der Aufwand für die Nachsteuertriebwerke in tragbaren Grenzen hält und daß bei einem System ohne Bahnsteuerung Betriebsunterbrechungen nicht ausgeschlossen sind; denn es wird immer Zeiten geben, in denen kein Satellit im geeigneten Sichtbereich zu finden ist. Andererseits wird es nicht möglich sein, bei dem wahllosen gleichzeitigen Erscheinen einer großen Anzahl von Satelliten die während dieser Zeit verfügbare große Übertragungs-Kapazität für den Verkehr auszuschöpfen.

Betrachtet wurden quasistationäre Satelliten in einer 24-Stundenbahn, das heißt Satelliten, die sich in etwa 36 000 km Höhe in äquatorialer kreisförmiger Umlaufbahn befinden und die für einen Beobachter auf der Erde scheinbar stillstehen. Außerdem erstreckten sich die Untersuchungen auf Satelliten in kreisförmigen 12-Stundenbahnen in etwa 20 000 km Höhe. Niedriger fliegende Satelliten wurden in die Betrachtungen nicht mit einbezogen, da Satelliten in 6- und 8-Stundenbahnen wegen ihrer geringen Höhe zu kleine Gebiete bedecken, so daß die Stromkreise in sehr vielen Verkehrsbeziehungen über zwei Satelliten geführt werden müssen und die Betriebsabwicklung dadurch zu umständlich wird. Bei Betrieb über einen quasistationären Satelliten benötigt man in den beteiligten Erdefunkstellen nur eine Antenne. Außerdem ist die Betriebsabwicklung, verglichen mit anders umlaufenden Satelliten, erheblich vereinfacht. Die Zone des gemeinsamen Betriebes ist durch den stets gleichbleibenden Bedeckungsbereich festgelegt.

Bei Systemen mit Satelliten in 12-Stundenbahnen müssen die Erdefunkstellen in den Zonen gemeinsamen Betriebes nach einem genau festgelegten Plan immer gleichzeitig von einem Satelliten auf einen anderen Satelliten übergehen. Hierfür werden zusätzliche Antennen erforderlich, damit die Umschaltung unterbrechungsfrei vor sich gehen kann.

Im einzelnen wurden folgende Systeme genau untersucht:

a) Ein System mit 3 und später 4 quasistationären Satelliten, deren Positionen in Bild 25 zu erkennen sind. Ein 5. Synchronsatellit über 26° westlicher Länge würde das System, wie die Untersuchungen ergaben, in einigen Jahren in einfacher Weise ergänzen.

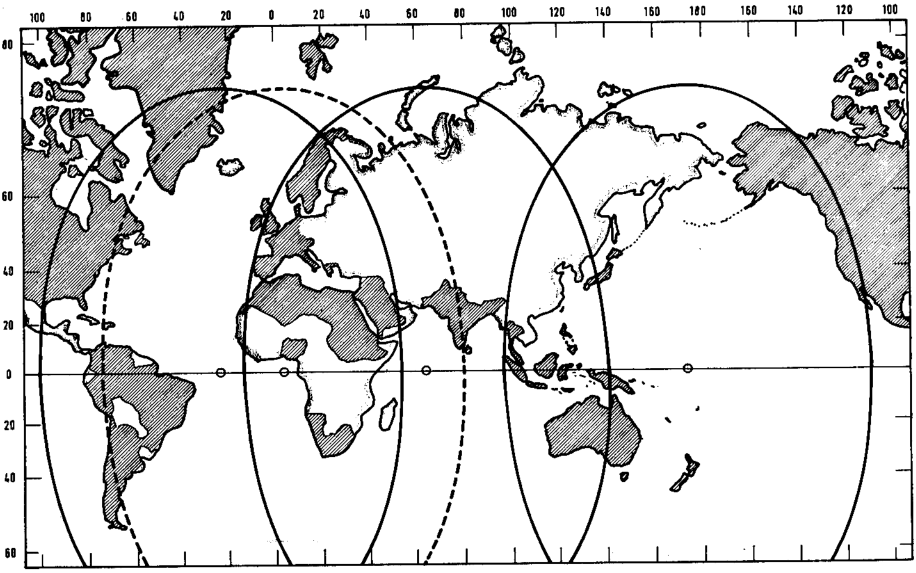

100
80
60
40
20
0
20
40
60
80
100
120
140
160
180
160
140
120
100
80
60
40
20
0
20
40
60

Bild 25. Mitgliedsländer von Intelsat in den Verkehrszonen von Synchronsatelliten des ersten geplanten weltweiten Satellitenfernmeldesystems

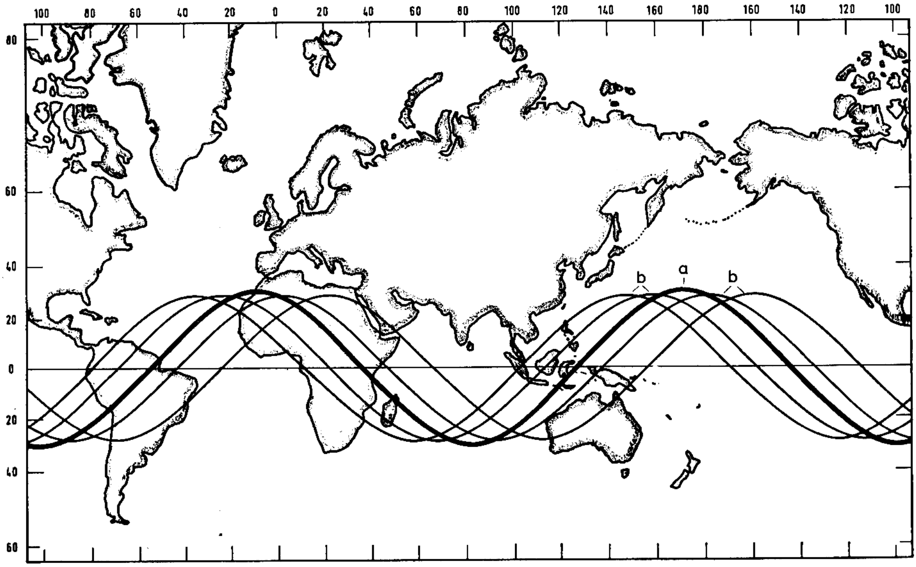

100
80
60
40
20
0
20
40
60
80
100
120
140
160
180
160
140
120
100
80
60
40
20
0
20
40
60
b
a
b

Bild 26. Bahnspuren von Satelliten bestimmter Systeme

a) Eine ausgewählte sich stets wiederholende gemeinsame Bahnspur von Satelliten mit 30° Inklination

b) Vier ausgewählte sich stets wiederholende gemeinsame Bahnspuren von Satelliten mit 28° Inklination

b) Ein System mit anfänglich 9 und später 13 Satelliten in äquatorialer 12-Stundenbahn.

c) Ein System mit 12 Satelliten in 12-Stundenbahnen mit 30° Inklination. Jeder Satellit ist in einer anderen Bahnebene, wobei die aufsteigenden Knoten der Bahnen so verteilt sind, daß sich auf der Erde eine einzige, sich stets wiederholende, für den Verkehrsfluß günstig gewählte Bahnspur ergibt (Spur a in Bild 26). Für einen Beobachter auf der Erde steigen die Satelliten immer im Westen an derselben Stelle des Horizonts in gleichen Zeitabständen auf und gehen im Osten an einer Stelle unter.

Untersuchungen über den Einfluß der Bahnneigung auf den zu erwartenden Verkehrsfluß haben gezeigt, daß bei etwa 30° Inklination ein Optimum vorliegt, um mit möglichst wenigen Satelliten den Stromkreisbedarf decken zu können. Besonders bevorzugt ist bei dieser gewählten Bahnspur die Zone starken Verkehrs über dem Atlantik.

d) Ein System mit 12 und später 15 Satelliten mit 28° Inklination in 12-Stundenbahnen. Die Neigung von 28° entspricht der geographischen Breite von Kap Kennedy, das bei diesen Betrachtungen als Abschußbasis in Aussicht genommen ist, und läßt optimale Ausnutzung der Startraketen zu.

Von 12 Satelliten sind je 4 auf 3 verschiedenen Bahnebenen verteilt. Je ein Satellit der 3 Bahnebenen folgt auf der Erde einer gemeinsamen Spur, so daß sich auf der Erde immer die 4 in Bild 26 eingezeichneten Spuren b ergeben. Die aufsteigenden Knoten der Bahnen sind so gewählt, daß auf den Hauptverkehrsrouten stets mehrere Satelliten gleichzeitig verfügbar sind.

Eine spätere Erweiterung des Systems auf 15 Satelliten, also mit 5 Satelliten in den 3 versetzten Bahnebenen, wodurch auf der Erde eine fünfte Spur hinzukommt, ist möglich.

Im einzelnen hat der Vergleich der verschiedenen Systeme ergeben, daß Synchronsatelliten in jeder Hinsicht am günstigsten sind.

Bis 1972 würden 4 Satelliten, deren Positionen und Bedeckungsbereiche aus Bild 25 zu erkennen sind, ausreichen, um den Bedarf, der den Untersuchungen zu Grunde lag, weitgehend zu decken. In Bild 25 sind auch die Mitgliedsländer von Intelsat besonders gekennzeichnet, so daß man leicht abschätzen kann, ob zwischen zwei Ländern von Intelsat bei dem geplanten System direkter Verkehr über einen Satelliten möglich ist oder nicht. Die Studien basierten darauf, daß 53 Standarderdefunkstellen mit 77 Antennen am Verkehr teilnehmen. Die Verwendung von absolut feststehenden Antennen kommt sehr wahrscheinlich in absehbarer Zeit nicht in Betracht, da ein Satellit nur mit sehr aufwendigem Nachsteuersystem in ausreichend fester Position genau über dem Äquator gehalten werden kann.

Mit den ersten 4 Satelliten des Systems sind 378 Linien (82,9 % der Vorausschau) und 3564 Stromkreise (95,8 % des in der Vorausschau enthaltenen Bedarfs) realisierbar. Mit einem fünften Satelliten, der 1972 über 26° westlicher Länge hinzukommt, kann man bei unveränderter

Anzahl von Erdefunkstellen mit 18 zusätzlichen Antennen für 409 verschiedene Verkehrsbeziehungen 5698 Stromkreise (98,2 % des den Untersuchungen zugrunde gelegten Bedarfs) decken.

Verbindungen über zwei Synchronsatelliten sind wegen der langen Laufzeit kaum tragbar. Sie werden sich praktisch auch vermeiden lassen, da nur 2 bis 4 % der Stromkreise über den Bedeckungsbereich einer einzigen Zone hinausgehen. In diesen Fällen wird es wahrscheinlich meistens möglich sein, einen Satellitenstromkreis durch Kabelwege zu ersetzen.

Der Kostenvergleich für die verschiedenen untersuchten Systeme, unterschieden nach Einrichtungs- und Betriebskosten einschließlich Erdefunkstellen, ist sehr problematisch, da die Kosten für die Stationen in den verschiedenen Ländern sehr variieren und nicht genügend bekannt sind. Trotzdem lassen gewisse Überlegungen unter bestimmten Annahmen erkennen, daß bei Verwendung von Satelliten in mittleren Höhen die Kosten für das Gesamtsystem etwa doppelt so hoch liegen wie bei quasistationären Satelliten.

Bei den Systemen mit 12-Stundenbahnen zeigte sich, daß 12 bis 20 % aller Stromkreise über zwei Satelliten geführt werden müßten. Damit würde die Laufzeit bei diesen Stromkreisen noch länger als bei Verwendung von Synchronsatelliten. Die niedrigeren Umlaufbahnen bringen also nicht allen Stromkreisen hinsichtlich der Laufzeit einen Vorteil. Außerdem darf man die Schwierigkeiten nicht übersehen, die durch den Doppler-Effekt hinzukommen und die im Augenblick des Satellitenwechsels beim Umschalten durch Änderung der Laufzeit bei unterschiedlichen Funkfeldlängen auftreten.

Unter Abwägung aller dieser Verhältnisse und auf Grund der guten Erfahrungen mit Intelsat I hat man im ICSC entschieden, für das erste weltweite kommerzielle Satellitenfernmeldesystem Synchronsatelliten zu verwenden. Dies schließt jedoch nicht aus, daß das Satellitensystem auf solchen Routen, auf denen auch gleichzeitig Seekabel hoher Kapazität mit kurzer Laufzeit verfügbar sind, durch zusätzliche Satelliten in niedrigeren Höhen ergänzt wird.

Bei dieser Entscheidung für Synchronsatelliten lag vor allen Dingen auch der Gedanke zu Grunde, die Erdefunkstellen und deren Betrieb möglichst einfach zu gestalten, damit sich in der Welt in absehbarer Zeit viele Länder durch den Bau von Erdefunkstellen am weltweiten Satellitenfernmeldeverkehr beteiligen.

VII. Zusammenfassung und Ausblick

Drei Jahre nach den ersten Experimenten über die Versuchssatelliten Telstar und Relay begann die kommerzielle Nutzung von Fernmeldesatelliten über Intelsat I. Intelsat II erweitert durch Mehrfachzugang die Anwendungsmöglichkeiten der Fernmeldesatelliten. Neue Satelliten, bestimmt für die Errichtung eines weltweiten kommerziellen Satellitenfernmeldesystems im Jahre 1968, sind in der Fertigung. Ihre Kapazität wird ausreichen, um den interkontinentalen Bedarf an Stromkreisen auf Jahre hinaus zu decken. Schon zeichnen sich neue Anwendungsmöglichkeiten für die kommerzielle Nutzung von Fernmeldesatelliten ab. Mehrere Firmengruppen unter internationaler Beteiligung werden im Auftrage von Intelsat die Technik von Vielzwecksatelliten studieren, deren Kapazität etwa fünfmal so groß ist wie die von Intelsat III. Diese Satelliten sollen so entworfen werden, daß sie durch geringfügige Änderungen dem jeweiligen Verwendungszweck angepaßt werden können. Man denkt dabei neben Fernsprechen vor allen Dingen an Verbindungen für die Navigation im Flug- und Schiffsverkehr, aber auch an Fernsehverteilung, um z. B. in einem so ausgedehnten Land wie die USA die vielen Kabel- und Richtfunkverbindungen für mehrere Programme zwischen Studio und Fernsehsendern durch Verbindungen über Satelliten zu ersetzen. Im dicht besiedelten Europa mit vielen unterschiedlichen Sprachen sind jedoch, so will es im Augenblick scheinen, dem regen Fernsehprogrammaustausch von Land zu Land enge Grenzen gesetzt. Aber auch hier sind im Rahmen von Eurovision und Intervision gewisse Einsatzmöglichkeiten für Fernsehverteilsatelliten denkbar. Auf weitere Sicht ist auch die direkte Fernsehversorgung der Bevölkerung einzelner Länder oder sogar ganzer Erdteile nicht ausgeschlossen.

Wann die weiteren Anwendungsmöglichkeiten realisierbar werden und in welchem Umfang man davon Gebrauch machen wird, läßt sich noch nicht annähernd übersehen. Sicherlich wird die stürmische Entwicklung der Raketentechnik und Raumfahrt und die gleichzeitig schritthaltende Entwicklung der Elektronik zu einer erheblichen Beschleunigung beitragen.

VIII. Schrifttum

1. E. Dietrich: Die deutsche Erdefunkstelle für den interkontinentalen Satelliten-Nachrichtenverkehr. Jahrbuch des elektrischen Fernmeldewesens 1964.
2. Hatsch, Bennet, Kinzer: Results of the Telstar System Communications Tests. The Bell System Technical Journal, Bd. XLII, Juli 1963, Nr. 4, Teil 2.
3. G. v. Trentini, K.-P. Romeiser und W. Jatsch: Dimensionierung und elektrische Eigenschaften der 25-m-Antenne der Erdefunkstelle Raisting für Nachrichtenverbindungen über Satelliten. Frequenz, Bd. 19/1965, Nr. 12, S. 402—421.
4. H. Pressler: Zwischenstaatliche Vorbereitungen für ein Nachrichtensatelliten-System. Jahrbuch des elektrischen Fernmeldewesens 1964.
5. P. T. Brady und G. K. Helder: Echo Suppressor Design in Telephone Communications. Bell System Technical Journal, Bd. 42, Nr. 6, Nov. 1963, S. 2893 bis 2917.
6. G. Erler und M. Schönfeld: Störungen des Nachrichtenverkehrs über Fernmeldesatelliten durch die Sonne. NTZ, Jahrg. 19, Heft 11, Nov. 1966, S. 653—658.

Arwed Hoyer

Typisierung und Normung von Ortsvermittlungsstellen

I. Typisierung und bisheriger Planungsstand
II. Aufgabe und Folgerung
III. Normung — heutiger Planungsstand
  A. Planung
    1. Trennung der Funktionen
    2. Kabeleinführung, Kabelaufteilung und Hauptverteiler
    3. Heizung
    4. Stromversorgung
    5. Lüftung
    6. Hebezeug
    7. Wählersaal
  B. Bauweise
  C. Konstruktion
  D. Gestaltung
  E. Ausschreibung und Vergabe
IV. Beschreibung der einzelnen Normengebäude
  A. Normengebäude Fe N2e und Fe N4e
    1. Gebäudeabmessungen
    2. Raumeinteilung
  B. Normengebäude Fe N3 und Fe N4
    1. Gebäudeabmessungen
    2. Raumeinteilung
V. Zusammenfassung
VI. Schrifttum

In den Ortsvermittlungstellen sind Einrichtungen aufgebaut, die dazu dienen, die Fernsprechteilnehmer miteinander zu verbinden. Der Bau dieser Fernsprechvermittlungsstellen wird auch für die nächsten Jahre eine vordringliche Aufgabe der Deutschen Bundespost bleiben, um die große Nachfrage nach Fernsprechanschlüssen im gesamten Bundesgebiet erfüllen zu können. Die Gebäude werden in der Regel innerhalb der Bebauung der Städte und Dörfer ihren Platz finden.

Die folgenden Untersuchungen, die im wesentlichen vom Standpunkt des Architekten ausgehen, sind eine Rückschau auf den bisherigen Planungsstand — Typisierung — und eine eingehende Betrachtung des heutigen Planungsstandes — Normung.

I. Typisierung und bisheriger Planungsstand

Um viele Ortsvermittlungsstellen in ihrer betrieblichen Funktion rationell und wirtschaftlich bauen zu können, wurden vor wenigen Jahren von einer Arbeitsgruppe der Deutschen Bundespost Gebäudetypen entwickelt. Dieser Arbeitsgruppe gehörten Fernmeldeingenieure, Maschinenbauingenieure und Architekten an. Sie wurde von einem Betriebsfachmann des Fernmeldedienstes geleitet, da es zunächst darum ging, den fernmeldetechnischen Betriebsablauf, also die Funktion im Gebäude, festzulegen. Das heißt, es waren zunächst allgemeine Planungsgrundsätze wie Kabeleinführung, Kabelaufteilung, Lage des Hauptverteilers, Raumanordnung und Raumgrößen festzulegen. Hieran schloß sich die eigentliche Hochbauplanung an. Als Ergebnis dieser Zusammenarbeit entstanden vier Gebäudetypen [1]. Die Aufnahmefähigkeit der einzelnen Typengebäude beträgt im Endausbau für

Typenhaus Fe 1	660 bzw. 1100 Anschlußeinheiten (AE)
Typenhaus Fe 2	2 200 AE
Typenhaus Fe 3	5 500 AE
Typenhaus Fe 4	10 000 AE.

Mit Ausnahme des Typenhauses Fe 1, das starr entweder für 660 oder für 1100 AE vorgesehen war, wurden die drei anderen Typenhäuser so geplant, daß sie später bei Bedarf durch Anbau oder Aufstockung auf die doppelte Aufnahmefähigkeit des anfangs vorgesehenen Endausbaus gebracht werden können.

Im Sommer 1962 wurden den Oberpostdirektionen die „Richtlinien über Typenhäuser für Ortsvermittlungsstellen mit Wählbetrieb (OVStW)“ übersandt. Sie umfassen:

1. Erläuterung der Typenreihe,
2. Allgemeine Planungsgrundsätze,
3. Fernmeldetechnische Erläuterungsberichte,
4. Hochbautechnische Erläuterungsberichte,
5. Maschinentechnische Erläuterungsberichte.

Zu den Erläuterungsberichten wurden die entsprechenden Ausführungszeichnungen im Maßstab 1 : 50 erarbeitet. Dazu kamen die statischen Berechnungen einschließlich der Konstruktionspläne.

Die Typenhäuser sind Bauten in konventioneller Bauweise. In den vergangenen Jahren sind Hunderte dieser Zweckbauten als Typenhäuser in verschiedenen Größen nach den Richtlinien gebaut worden. Diese Maßnahme zur Rationalisierung hat sich insgesamt sehr gut bewährt. Die Typenhäuser sind im Hochbau- und Fernmeldedienst ein Begriff geworden, der eine genaue Vorstellung ihrer Funktionen gibt. Man hat in der praktischen Lösung der Probleme, die bei der Planung, beim Bau und bei der Inbetriebnahme dieser Gebäude entstanden, vielfältige Erfahrungen gesammelt.

Die Grundrisse sind für die Ausführung verbindlich. Ihnen ist ein „Bauraster“ von 2,50 m in der Längsrichtung der Gebäude zugrunde gelegt. Dagegen beträgt der „Technikraster“ wegen der Gestellreihenabstände im Wählersaal und den damit festgelegten Deckenaussparungen für die Kabelzuführung vom Hauptverteiler zum einzelnen Gestell bei den Typenhäusern Fe 3 und Fe 4 1,08 m. Schon um diese beiden Raster bei der Planung miteinander in Einklang zu bringen, ist man auf eine herkömmliche Bauausführung der Typenhäuser angewiesen. Die Schnitte und Aufrißpläne sind ebenso verbindlich wie die Grundrißpläne, weil die Geschoßhöhen, die Art und

Zahl der Fenster und die Lichtöffnungen grundsätzlich festgelegt sind. Dennoch ist es möglich, die äußere Gestalt den örtlichen Gegebenheiten des Standortes anzupassen.

Somit entsprechen die Grundrißpläne einer Normung, weil diese einheitlich zugrundeliegen. Dagegen erlauben die Schnitte und Aufrißpläne eine gewisse Freiheit der Gestaltung. Diese Möglichkeit der Anpassung an die Nachbarbauten führt zu einer äußerlichen Typisierung der Gebäudeschauseiten. Die Planung dieser Typenhäuser stimmt jedoch wegen ihrer Unterschiedlichkeit einerseits beim Grundriß, andererseits bei den Schauseiten nicht überein.

Um die Begriffe Typus und Norm eindeutig zu bestimmen, macht Professor Dr.-Ing. Karl Gruber diesen Unterschied symbolisch deutlich: „Typus ist etwas anderes als Norm. Typus läßt sich vergleichen mit einer Pflanze, die sich nach den Gesetzen ihrer Gestaltung der Örtlichkeit und dem Klima anpaßt. Norm ist das in eine Form gestanzte Fabrikerzeugnis von maschineller Gleichartigkeit“ [2]. Im gleichen Sinne und ausführlich auf das Bauen unmittelbar bezogen, sagt Professor Dr.-Ing. Walter Henn: „. . . Heute tritt an die Stelle des Typus die Norm. Normung bedeutet aber die Entwicklung möglichst gleicher und vereinfachter Teile, um so die Voraussetzungen für den Austausch und damit für die Massenproduktion zu schaffen. Normung und Typung mögen sich zwar in ihren Auswirkungen berühren, sind aber entgegengesetzte Begriffe. Die Typung kommt von der Ordnung im Großen, im Grundsätzlichen, sie läßt die Abwandlung im einzelnen zu. Die Normung kommt dagegen von den Einzelelementen her, sie bezweckt keine Ordnung im Großen. Eine Normung gilt dann als vorbildlich, wenn sie in der Anwendung der Einzelteile möglichst keine Einschränkung verlangt, wenn also die genormten Einzelteile an jeder Stelle verwendet werden können“ [3].

Alle Ortsvermittlungsstellen haben grundsätzlich den gleichen Zweck zu erfüllen. Auch bei verschiedener Größe je nach der Anzahl der Anschlußeinheiten ist der Betrieb immer der gleiche. Die technischen Einrichtungen bestehen aus industriell gefertigten Geräten. Sie werden in den schon errichteten Bau installiert. Die Geräte werden dann von wenigen Leuten gewartet. Sie arbeiten automatisch. Die hochentwickelten Geräte sind äußerst empfindlich; sie sind deshalb vor Kälte, Hitze und Staub zu schützen. Der bis in alle Einzelheiten gehende technisierte Betrieb verlangt eine höchstmögliche Präzision, die auch im Bauorganismus ihren Widerhall finden muß. Nach diesen Feststellungen konnte geschlossen werden, daß sich für die Aufnahme solcher technischen Geräte Normengebäude anbieten. Dieser Folgerung stellte sich aber das Verlangen entgegen, daß aus den schon erwähnten Gründen die Freiheit der Gestaltung des Äußeren möglich sein soll.

In der Verfügung des Bundesministeriums für das Post- und Fernmeldewesen (BPM), mit der im Mai 1962 den Oberpostdirektionen die „Richtlinien über Typenhäuser für Ortsvermittlungsstellen mit Wählbetrieb (OVStW)“ bekanntgegeben wurden, hieß es daher:

> „Für Typenhäuser wurden Ausführungszeichnungen (M 1:50) mit entsprechenden Erläuterungsberichten erarbeitet. Die Gestaltung der Fassaden, die Auswahl der Baustoffe für die Ansichten, die Gestaltung des Daches usw. bleiben den OPDn überlassen. Die beigefügten Fassadenzeichnungen stellen lediglich Typenskizzen dar."

Die Praxis zeigte, daß gerade die Möglichkeit zur Freiheit der Gestaltung des Äußeren deshalb problematisch wurde, weil die Berechnungen für die Heizungsanlagen und die lüftungstechnischen Einrichtungen von festen Werten ausgingen. Sie sind in den maschinentechnischen Erläuterungsberichten der Richtlinien festgelegt. Diese Normen setzen zwangsweise Grenzen, z. B. bei der Wahl des Materials der Außenwände, bei der Wahl der Fenster und der Lichtöffnungen aus Glasbausteinen samt ihrer Größe und technischen Durchbildung.

Demgegenüber steht die berechtigte Forderung des für den Betrieb Verantwortlichen, daß an diese Betriebsgebäude, die Behälter für sehr empfindliche technische Einrichtungen sind, hohe haus- und hochbautechnische Anforderungen zu stellen sind. Aus der Sicht des Fernmelde- und Maschinenbauingenieurs wäre deshalb eine Normung dieser Betriebsgebäude eine konsequente Lösung. Sie wird in der schon erwähnten Verfügung offensichtlich aus Gründen der Zweckmäßigkeit angedeutet; denn es heißt dort in einem weiteren Absatz:

> „Können die Oberpostdirektionen eines dieser Typenhäuser für den Neubau einer OVStW unverändert oder mit nur geringfügigen Änderungen verwenden, wird die gesamte Planungsarbeit wesentlich verringert. Unter anderem brauchen für Typenhäuser keine förmlichen Raumpläne aufgestellt zu werden. Darüber hinaus erleichtert die Typisierung die Ausschreibung der Bauarbeiten, die u. U. auch in ihrer Gesamtheit öffentlich oder beschränkt ausgeschrieben und dann zur schlüsselfertigen Erstellung des Hauses an einen Generalunternehmer vergeben werden können (siehe VOB/A § 4 Ziff. 3). Ebenso wird damit die Einschaltung freischaffender Architekten und fremder Bauträger erleichtert."

Die Entwicklung von Typenhäusern für Ortsvermittlungsstellen hat die Planung und Ausschreibung dieser Bauten wesentlich vereinfacht. Dadurch konnten auch die Hochbauleistungen entscheidend gesteigert werden. Durch die Typisierung der Dienstgebäude für Ortsvermittlungsstellen konnte wenigstens der dringendste Bedarf an diesen Bauten in den letzten Jahren gedeckt werden.

II. Aufgabe und Folgerung

Im Bundesgebiet müssen in den kommenden zehn Jahren 1500 Ortsvermittlungsstellen gebaut werden. Es ergibt sich hierbei das Problem, wie dieses umfangreiche Bauprogramm weiter rationalisiert werden kann. Zu dessen Lösung wurden von Professor Dr.-Ing. Walter Henn (Leiter des Instituts für Industriebau an der Technischen Hochschule Braunschweig) im Auftrag der Deutschen Bundespost in einer **„Ersten gutachtlichen Stellungnahme zu den Bauvorhaben der Deutschen Bundespost von Ortsvermittlungsstellen mit Wählbetrieb"** verschiedene Möglichkeiten einer zeit- und kostensparenden Errichtung der typisierten Gebäude untersucht. Die Untersuchung zielte vor allem darauf, ob es sinnvoll und zweckdienlich ist, auf der Grundlage der bisherigen Typenentwicklung der OVStW einheitliche Pläne als Normentwürfe mit festliegendem Grund- und Aufriß zu erarbeiten, die geeignet sind, die OVStW-Gebäude mit vorgefertigten Bauteilen durch Generalunternehmer ausführen zu lassen. Es wurden bei dieser Frage folgende drei Vorschläge zur Wahl gestellt:

A. Konventionelle Bauausführung der Typenentwürfe durch Generalunternehmer,
B. Bauausführung der bisherigen Typenentwürfe mit vorgefertigten Bauteilen,
C. Bauausführung mit vorgefertigten Bauteilen für neu zu entwickelnde Grundrisse.

In seinem Gutachten bestätigte Professor Dr. Henn, daß die von der Deutschen Bundespost entwickelte Typenplanung zu sehr guten Ergebnissen geführt habe und die Grundlage und Voraussetzung zu einer weiteren Rationalisierung des Bauprogramms bilde.

Nach diesem Gutachten und den weiteren eigenen Untersuchungen schien es geboten, die bisherige Typenentwicklung der Ortsvermittlungsstellen hinsichtlich der aufgezeigten Möglichkeiten zu überprüfen. Dabei zeigte sich: Der fernmeldetechnische Betriebsablauf in den bisherigen Typenhäusern entspricht dem neuesten Stand der Fernmeldetechnik. Er ist auch bei einer Planung von OVStW-Normengebäuden im Sinne des Punktes C) des Gutachtens grundsätzlich beizubehalten. Auf der Grundlage der bisherigen Typenhausplanung wurde deshalb ein Forschungsauftrag erteilt, der neue Methoden und Verfahren zur Entwicklung von Normengebäuden für Ortsvermittlungsstellen mit Wählbetrieb in Fertigteilbauweise ergeben sollte.

III. Normung — heutiger Planungsstand

Als Ergebnis dieses Zusammenwirkens ist der Planungsstand zur Zeit folgender:

Die kleineren OVStW von 660—1100 AE sind weiterhin als Typengebäude (Fe 1a und Fe 1b) zu bauen. Sie werden zwar in großer Zahl benötigt; sie sind jedoch vornehmlich bei den Oberpostdirektionen mit größeren ländlichen Bezirken vorgesehen. Es ist deshalb sinnvoll, diese Bauten auch künftig von ortsansässigen Bauunternehmern in herkömmlicher Bauweise errichten zu lassen.

Für die größeren Ortsvermittlungsstellen wurden vier Normengebäude geplant. Bild 1 zeigt diese in einer schematischen Übersicht.

Fe N2e	mit einer Aufnahmefähigkeit bis	4 500 BE
Fe N3	mit einer Aufnahmefähigkeit bis	8 000 BE
Fe N4	mit einer Aufnahmefähigkeit bis	16 000 BE
Fe N4e	mit einer Aufnahmefähigkeit bis	16 000 BE

A. Planung

Die Planung von Ortsvermittlungsstellen wird von der Zuordnung von Kabeleinführung, Kabelaufteilung, Hauptverteiler und Wählersaal bestimmt. Danach ergeben sich von der fernmeldetechnischen

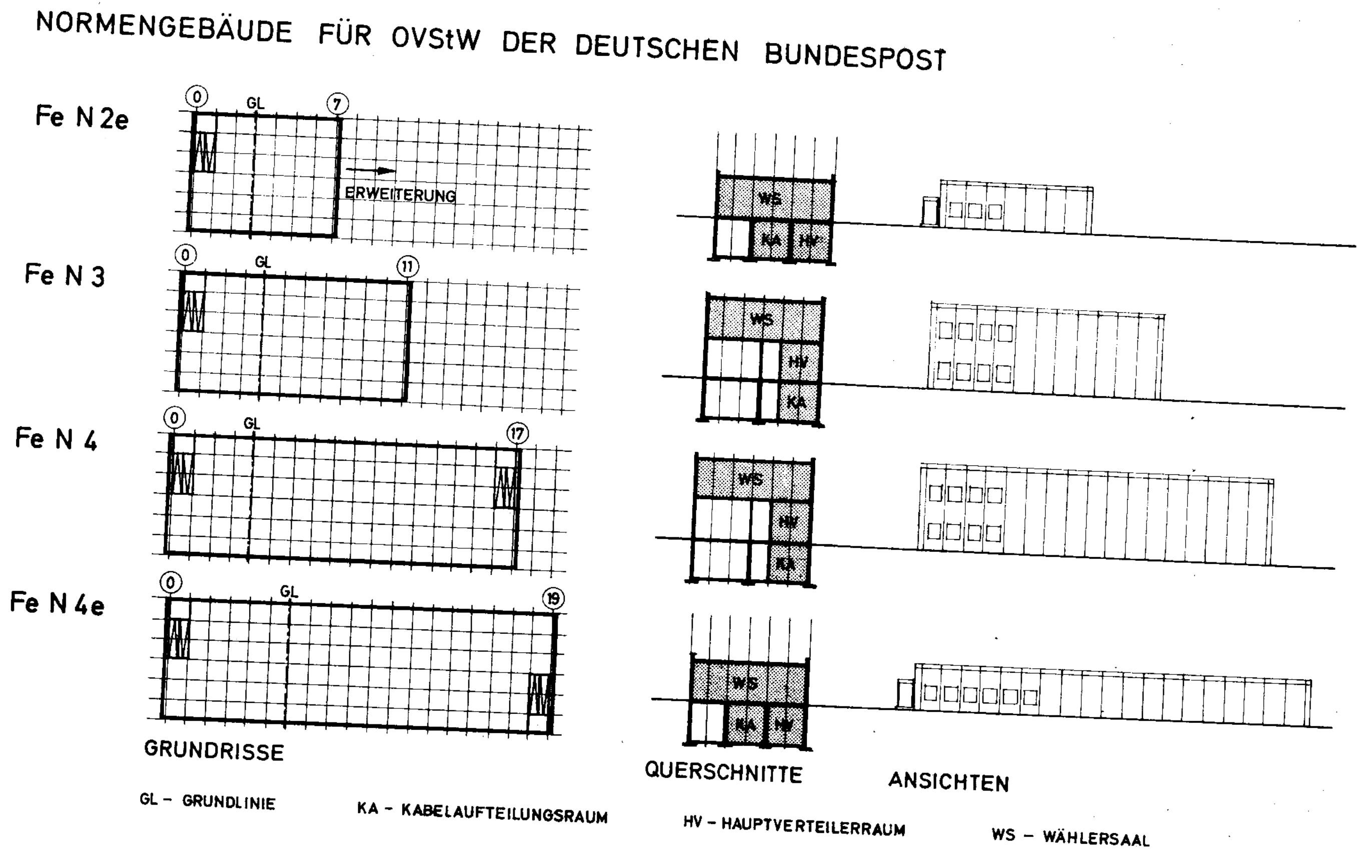

NORMENGEBÄUDE FÜR OVStW DER DEUTSCHEN BUNDESPOST
Fe N 2e
Fe N 3
Fe N 4
Fe N 4e
0
GL
7
ERWEITERUNG
11
17
19
WS
KA
HV
GRUNDRISSE
QUERSCHNITTE
ANSICHTEN
GL – GRUNDLINIE
KA – KABELAUFTEILUNGSRAUM
HV – HAUPTVERTEILERRAUM
WS – WÄHLERSAAL

Bild 1. Übersicht der Normengebäude

Funktion und somit aus der Grundrißlösung zwei Gruppen von Gebäuden, nämlich die zweigeschossige Bauweise mit Keller- und Erdgeschoß für Fe N2e und Fe N4e und die dreigeschossige Bauweise mit Keller-, Erd- und Obergeschoß für Fe N3 und Fe N4. Diese Gebäudegruppen unterscheiden sich dadurch, daß bei den ebenerdigen Gebäuden Fe N2e und Fe N4e der Hauptverteiler neben der Kabelaufteilung im Kellergeschoß liegt, während bei den Gebäuden Fe N3 und Fe N4 der Hauptverteiler im Erdgeschoß, also senkrecht über der Kabelaufteilung liegt.

Die vier Normengebäude sind durch eine Grundlinie in einen „Kopfteil“ und in einen „technischen Teil“ gegliedert. Der Kopfteil ist in seinen Grundelementen bei allen Gebäuden gleich ausgebildet (Bild 1).

Die vier Gebäude lassen sich von der vorderen Stirnseite her günstig an die Zuführungen für Wasser, Kanal und Fernmeldekabel anschließen. Die Personeneingänge der zweigeschossigen Gebäude Fe N2e und Fe N4e liegen ebenfalls an den Stirnseiten. Bei den dreigeschossigen Gebäuden Fe N3 und Fe N4 liegen sie dagegen an der Längsseite, weil an ihren vorderen Stirnseiten die Hebezeuge zum Einbringen der Gestelle eingebaut sind.

Aufgrund ihrer Konstruktion können die Normengebäude nicht aufgestockt werden. Die Gebäude Fe N2e und Fe N3 sind jedoch in der Längsrichtung erweiterungsfähig, wobei das letztere bis zur Größe von Fe N4 erweitert werden kann.

Die Normengebäude enthalten keine Wohnungen. Die Dienstwohnungen sind entweder in Verbindung mit der OVStW in eigenen Gebäuden zu planen oder in der Nähe anzumieten.

1. Trennung der Funktionen

Bei den Grundrißlösungen ist angestrebt worden, die verschiedenartigen Funktionen klar zu trennen. So ergibt sich in den Grundrissen der einzelnen Geschosse aller Normengebäude eine Trennlinie zwischen Betrieb und Technik, die sogenannte „Grundlinie“. Im Kopfteil der Gebäude, also links von dieser Linie, liegen der Eingang, die Treppen, die Hauptverkehrsflächen mit den von hier aus zugänglichen Betriebsräumen, die Toiletten und die Umkleideräume. Rechts von der Grundlinie liegen die mit Technik belegten Räume. Die Grundlinie liegt in allen Geschossen übereinander. Dadurch ist eine einheitliche senkrechte Trennung der Funktionen erreicht worden.

Die Kabeleinführung und die Stromversorgung sind in diesem Sinne ebenfalls getrennt. Die Fernmeldekabel werden von der Stirnseite am Kopfteil des Gebäudes in das Kellergeschoß des Gebäudes eingeführt. Sie werden bei allen Gebäuden im Kabelaufteilungsraum am Muffengestell abgeschlossen. Von dort werden die Aufteilungskabel zu dem darüber bzw. daneben liegenden Hauptverteiler geführt.

Die Stromversorgung kommt immer von der rechten Seite des Gebäudes. Demnach liegen der Gleichrichter- und Batterieraum rechts

2180
Achse Deckendurchbruch
4 8 24
3 7 23
2 6 22
1 5 9 13 17 21
3300
1950
1350
7930
4
3
2
1
170
170
170
2180
2100
1200
1200
1300
1300
1640
1200
1290
KABELEINFÜHRUNG NACH DETAILBLATT NR 16
ACHSE KABELKANALEINFÜHRUNG
400*
13-16
9-12
5-8
1-4
AtOk jeweils in 5 Lagen
1-4
AtOk Muffe 1 bis 4

Angabe bei Festlegung des genauen Achsmaßes der Kabeleinführung

Bild 3. Kabelaufteilung bei waagerechter Muffenlage

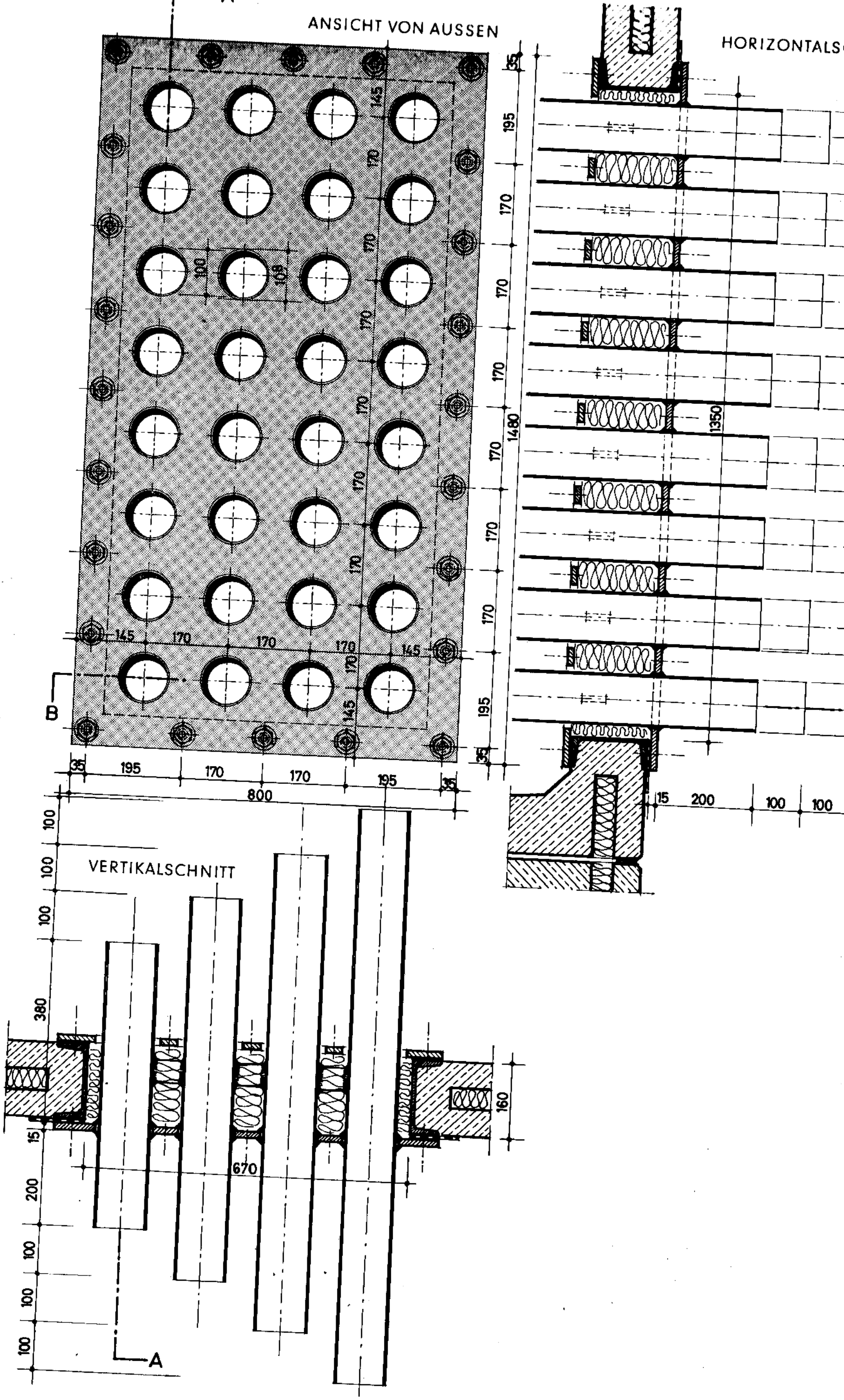

ANSICHT VON AUSSEN
HORIZONTALS
VERTIKALSCHNITT
A
B
35
195
170
145
100
108
1480
1350
800
15
200
100
380
160
670

Bild 2. Kabeleinführung im Außenwandelement
(Entwurf: Architekt Prof. Dr.-Ing. W. Henn, TH Braunschweig)

der Grundlinie. Der Strom für den Fernmeldebetrieb wird vom Gleichrichterraum über eine Stromschiene zu dem darüber liegenden Wählersaal geführt.

2. Kabeleinführung, Kabelaufteilung und Hauptverteiler

Die Fernmeldekabel werden in Hart-PVC-Rohren mit Schrumpfmuffen bis an die Gebäudeaußenwand der Giebelseite des Kopfteils herangeführt. Von da aus werden die Kabel etwa 50—80 cm unter der Oberfläche des Erdreichs durch ein Formstück im Außenwandelement in das Kellergeschoß eingeführt. Das betreffende Außenwandelement erhält eine rechtwinklige Öffnung mit einem Einbaurahmen aus einem U-Profil. Dieser Einbaurahmen wird bei der Fertigung des Elements einbetoniert. An diesen Rahmen wird von außen und innen eine Stahlplatte unter Zwischenschaltung einer Dichtung geschraubt. Die äußere Stahlplatte weist eine den Fernmeldekabeln entsprechende Anzahl von aufgeschweißten Stahlrohren auf, die in ihrer Länge so abgestuft sind, daß das Aufschrumpfen der PVC-Rohre außerhalb und innerhalb des Gebäudes möglich ist.

In den Typenhäusern wurde in den Außenwänden eine rechtwinklige Aussparung gelassen, in die man nachträglich die Kabelformsteine eingesetzt hat. Da die auftretende Fuge zwischen Mauerwerk und Kabelformstein in vielen Fällen zu Undichtigkeiten führte, wurde bei den Normengebäuden die auf Bild 2 dargestellte Lösung gewählt. Damit wird bei allen Gründungsarten eine absolut dichte Einführung der Kabel gewährleistet. Die Größe der vorgesehenen Wandöffnung beträgt 67 × 135 cm, und die Unterkante des untersten PVC-Rohres liegt etwa 1,60 m unter der Oberfläche des Erdreichs.

Die weitere Kabelführung einschließlich der Kabelaufteilung entspricht im Grundsatz der bei den Typenhäusern Fe 3 und Fe 4. Das heißt, die schweren Kabel werden so auf ein Gestell geführt, daß die Muffen, wie im Bild 3 gezeigt, waagerecht liegen.

Die Kabelaufteilung und der Hauptverteiler können, wie es bei den beiden verschiedenen Gruppen von Gebäuden gezeigt wird, grundsätzlich nebeneinander oder übereinander angeordnet werden. Wenn die Kabelaufteilung und der Hauptverteiler, wie bei der zweigeschossigen Lösung der Normengebäude Fe N2e und Fe N4e, nebeneinander liegen, werden sie durch eine Wand voneinander getrennt, weil im Kabelaufteilungsraum unvermeidbare Schmutzarbeiten ausgeführt werden, während in dem Raum des Hauptverteilers schmutzempfindliche Technik steht. Diese Trennwand verhindert auch das mögliche Übergreifen eines Brandes auf den Hauptverteiler, der im Kabelaufteilungsraum bei Kabelabschlußarbeiten entstehen könnte.

3. Heizung

Der Heizraum liegt bei allen Normengebäuden im Kellergeschoß des Kopfteils neben der Treppe und hat eine gemeinsame Wand mit dem Installationsschacht, in dem auch die Heizkamine mit dem zugehörigen Abluftschacht für den Heizraum liegen. An der Außenwand ist ein Lichtschacht vorgesehen, der gleichzeitig als Notausstieg und zur Außenluftzuführung dient.

Damit die Heizungsanlage ebenso vollautomatisch wie die anderen technischen Einrichtungen des Hauses arbeitet, ist als Regelausführung eine Warmwasser-Zentralheizungsanlage mit Ölfeuerung für Heizöl EL vorgesehen worden. Das Heizöl wird in einem doppelwandigen unterirdischen Lagerbehälter mit automatischer Leckanzeigevorrichtung außerhalb des Gebäudes gelagert. Wo die bauaufsichtlichen Bestimmungen der Länder es fordern, wird bei aggressivem Erdreich der Tank zusätzlich mit kathodischem Schutz versehen.

Bei der Planung wurde jedoch auch die Möglichkeit der Gasfeuerung oder des Anschlusses an eine Fernheizleitung berücksichtigt. Den allgemeinen Vorschriften für die Heizungsanlagen in wichtigen Betriebsgebäuden der DBP entsprechend, sind wegen der Betriebssicherheit Kessel vorgesehen, die von Öl oder Gas auf feste Brennstoffe umgestellt werden können. Wenn es notwendig wird, benachbarte Dienstgebäude mit Wärme zu versorgen, kann bei den Gebäuden Fe N3, Fe N4 und Fe N4e, die einen weiteren Kaminzug als Reserve haben, ein zweiter Kessel aufgestellt werden. Durchführungen in der Außenwand für Öl-, Gas- oder Fernheizleitungen sind bei allen Gebäuden vorgesehen.

Alle Normengebäude erhalten eine Profil-Einrohrheizung mit waagerechten Verteilleitungen in den einzelnen Geschossen. Diese Heizungsanlagen machen bei dem einheitlichen Rastermaß und der gleichbleibenden Form der Außenwandelemente eine weitgehende Vorfertigung im Werk und damit eine Verkürzung der Montagezeiten möglich.

Die Temperatur in den Betriebsräumen wird durch Rücklaufbeimischung über eine außenthermostatische Regelanlage konstant gehalten. Im Wählersaal haben die Heizkörper außerdem Thermostatventile, um die Heizung an die wechselnde Eigenwärme der technischen Geräte in diesem Raum anzupassen.

4. Stromversorgung

Die Normengebäude werden nach Möglichkeit mit einem Niederspannungsanschluß an das Netz der örtlichen Elektrizitätsversorgungsunternehmen angeschlossen. Da das bei den Gebäuden Fe N4 und Fe N4e wegen des größeren Leistungbedarfs meist nicht ausführbar sein wird, wurde für diese Gebäude der Einbau eines Transformators mit zugehöriger Hochspannungs- und Niederspannungsschaltanlage berücksichtigt.

Die elektrische Energie wird über Kabel in den Installationsschächten den Stockwerken zugeführt. Von den ebenfalls in den Installationsschächten angeordneten Unterverteilungen werden die Leitungen durch Installationskanäle auf den Fluren in die Räume verteilt. Die Wandelemente erhalten ein eingegossenes Leerrohrsystem mit Verteiler- und Schalterdosen. Die senkrechten Leitungen werden in dieses Leerrohrsystem eingezogen. Die waagerechten Leitungen werden von Wand zu Wand und zu den Deckenleuchten zwischen den Unterzügen sichtbar an der Decke geführt. Zwischen den Unterzügen sind außerdem von den Fluren zu den Räumen Rohrdurchführungen vorgesehen, die durch Kunststoffdeckel verschlossen sind und bei Bedarf auch zur nachträglichen Installation verwendet werden können. Durch die Installationskanäle und das Leerrohrsystem werden, getrennt von den Starkstromleitungen, auch die Schwachstromleitungen für Hausfernsprecher und sonstige Meldeleitungen geführt.

In allen Gebäuden sind ein Gleichrichter- und ein Batterieraum im Keller angeordnet. Die Stromversorgungsanlage ist dabei so geplant, daß die Energieleitungen durch die Installationskammern bis zur U-Schiene der Wählergestelle auf kurzem Wege verlegt werden können.

Zum Anschluß fahrbarer Einrichtungen ist, wie bei allen entsprechenden Fernmeldedienstgebäuden, die Möglichkeit zum Ein- und Ausspeisen elektrischer Energie vorgesehen worden.

5. Lüftung

Die Fernmeldestromversorgungsanlage im Gleichrichterraum erzeugt eine erhebliche Wärme, die durch eine Lüftungsanlage dem Raum wieder entzogen wird. Da der Gleichrichterraum nur kurzzeitig mit Personal besetzt ist, und da nur sehr selten die Höchstgrenze der Wärme erreicht wird, kann der Lüftungsanlage die für die Fernmeldegeräte maximal zulässige Raumtemperatur von 40 ° C zugrunde gelegt werden. Die Luftmengen wurden deshalb mit einer Temperaturdifferenz von 8 ° C (Außentemperatur von 32 ° C und Ablufttemperatur von 40 ° C) errechnet. Luftkühleinrichtungen sind nicht erforderlich. Zur Erwärmung der Außenluft bei tieferen Außentemperaturen als 18 ° C ist eine Umluftbeimischung vorgesehen. Zur Vermeidung zu großer Durchbrüche und Kanäle sowie zur Abschaltung der halben Abluftmenge bei Umluftbetrieb ist die Abluft auf zwei Lüftungsgeräte aufgeteilt. Die Hälfte der Abluft wird außerdem durch den Kabeleinführungsraum geblasen, damit dieser Raum ebenfalls durchlüftet wird. Die Lüftungsanlagen werden durch Thermostate im Gleichrichterraum automatisch ein- und ausgeschaltet.

Zur Vermeidung explosiver Luftgemische ist der Batterieraum mit einem Zu- und Abluftkanal versehen. Im Abluftkanal ist ein säurefester Ventilator angeordnet, der bei Batterieladung automatisch eingeschaltet wird.

Die Wählereinrichtungen erfordern neben großer Staubfreiheit auch eine ganz bestimmte Luftfeuchte zur Erhaltung der Kontaktgüte. Die erforderliche Luftfeuchte von 10 Gramm Wasser je m^3 Luft wird durch automatische Luftbefeuchtungsgeräte sichergestellt. Diese Luftbefeuchter werden nur mit vollentsalztem Wasser betrieben, damit keine Schäden an den Kontakten durch die im Leitungswasser immer enthaltenen Salze auftreten. Zur Entsalzung des Leitungswassers sind Vollentsalzungsgeräte vorgesehen.

Durch die Befeuchtung werden die Außenwände mit einem Dampfdruck bis etwa 140 mm WS belastet. Es ist deshalb erforderlich, die Außenwand und ggf. auch das Dach mit einer einwandfreien geschlossenen Dampfsperrschicht zu versehen, um das Eindringen der Feuchtigkeit vom Raum her in Wand- und Deckenplatten zu vermeiden. Die Durchfeuchtung der Bauteile könnte infolge Taupunktunterschreitung die Wärmeisolierung verschlechtern und Wand und Decke beschädigen. Es besteht aber auch die Gefahr der Taupunktunterschreitung, d. h. Kondenswasserbildung auf der Raumseite der Dampfsperre im Bereich von Kältebrücken, z. B. an den Fugen zwischen den Fertigbauteilen. Um dies zu vermeiden, ist auf eine einwandfreie Wärmeisolierung im Bereich der gefährdeten Stellen zu achten.

Die technischen Geräte im Wählersaal erfordern keine Lüftung. Da aber zeitweilig Personal in den Räumen anwesend ist und dem Raum deshalb eine bestimmte Außenluftrate zugeführt werden muß, sind Lüftungsanlagen mit Filterung und Heizung der Außenluft vorgesehen worden. Der dem Wählersaal als Luftschleuse dienende und längere Zeit mit Personal besetzte Prüfraum erhält die gleiche Luftbehandlung wie der Wählersaal. Ebenso ist der fensterlose Kabelaufteilungsraum mit einfacher Be- und Entlüftung versehen.

6. Hebezeug

Im Obergeschoß der Fe N3- und Fe N4-Normengebäude ist ein Hebezeug mit einer Tragkraft von 500 kp vorgesehen, damit die schweren Fernmeldeeinrichtungen beim Aufbau und bei Erweiterungen rationell transportiert werden können. Gleichzeitig wird die Gefahr der Beschädigung für die wertvollen Einrichtungsgegenstände gemindert. Für den Betrieb des Hebezeugs sind an der Stirnseite des Flures Fenstertüren vorgesehen, durch die zur Ausführung der Transportarbeiten ein Trägerprofil und der Elektrozug mit langer Einschienenkatze nach außen gefahren werden. Durch diese Ausführung ist gewährleistet, daß die Lasten ohne Zwischenlagerung unmittelbar von den Transportfahrzeugen ins Gebäude gehoben werden können.

7. Wählersaal

Der Wählersaal liegt bei den Normengebäuden Fe N2e und Fe N4e im Erdgeschoß und bei Fe N3 und Fe N4 im Obergeschoß. Er hat bei allen Gebäuden die gleiche Breite von 11,85 m im Lichten. Die Länge des Wählersaals hängt von der Größe des Amtes mit der festgelegten Anzahl von Beschaltungseinheiten ab. Damit wird auch die Zahl der Wählergestelle bestimmt.

Das einwandfreie Arbeiten der Wähler fordert Staubfreiheit und ein günstiges Raumklima. Um dies zu sichern, werden an den Wählersaal bestimmte bau- und haustechnische Bedingungen gestellt. So hat der Wählersaal feste, geschlossene Außenwände ohne Lichtöffnungen. Damit wird eine verhältnismäßig gleichbleibende Beschaffenheit der Luft hinsichtlich Staubgehalt, Temperatur und Feuchte erreicht. Dies ist gegenüber den Typenhäusern eine bedeutende Verbesserung, da bei ihnen noch Fenster oder Lichtöffnungen mit Glasbausteinen vorgesehen waren.

Wie bei den Typenhäusern sind im Wählersaal keine festen Arbeitsplätze vorgesehen. Sie sind im Prüf- und Signaldienstraum, der einen Zugang zum Wählersaal hat. Um die Beschaffenheit der Luft und eine gleichbleibende Luftfeuchte zu wahren, wird der Wählersaal mit Hilfe von Belüftungstruhen und Befeuchtungsgeräten be- und entlüftet sowie befeuchtet. Der unmittelbar an den Wählersaal anschließende Prüfraum hat wegen des möglichen Luftaustausches der beiden Räume eine feste Fensterverglasung und wird ebenfalls mechanisch be- und entlüftet.

B. Bauweise

Die Planung eines Bauwerks in Fertigteilbauweise setzt eine weitgehende Normung des Maßsystems, der Grundrisse und der Konstruktion voraus, um möglichst viele Elemente von gleicher Form und Größe zu erhalten. Für alle Normengebäude wurde deshalb ein einheitliches Rastermaß von 2,16 m festgelegt. Dieses Achsmaß ergibt sich aus einem Vielfachen der 18 cm langen Trennleiste am Hauptverteiler und dem Abstand der Deckendurchbrüche zum Wählersaal. Der Gestellreihenabstand beträgt 1,08 m. Um die notwendigen Deckenunterzüge bzw. Rippen mit den Durchbrüchen aufeinander abzustimmen, wurde daher das Achsmaß aus 2 × 1,08 m = 2,16 m gebildet. Die Wandelemente und die Deckenteile stimmen an ihren Verbindungsstellen maßlich überein. Damit entspricht das „Technikrastermaß“ dem „Baurastermaß“.

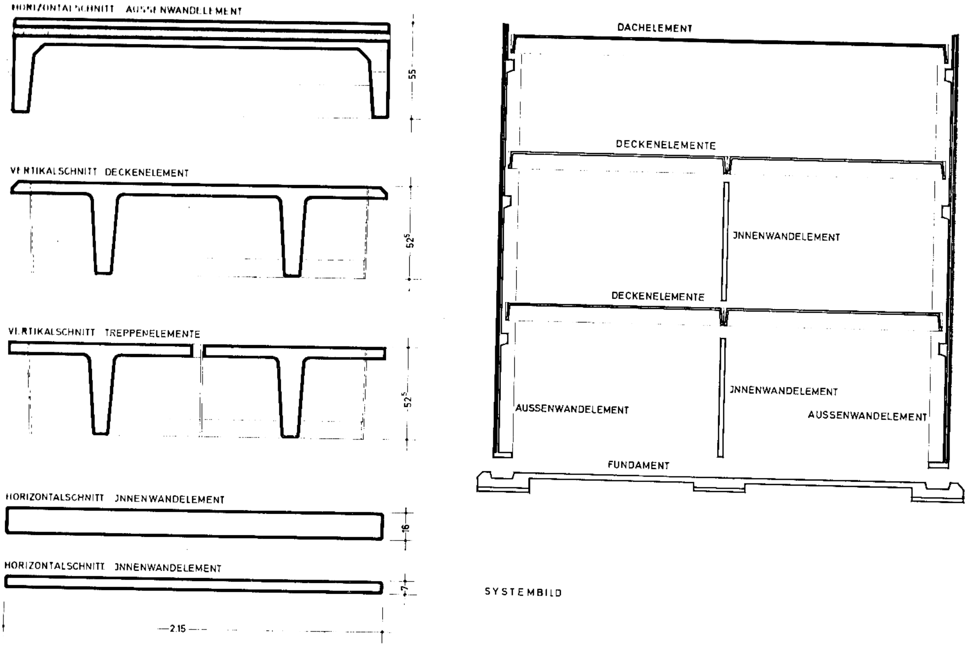
Die Gebäudebreiten wurden bei allen Grundrissen gleich angenommen; sie betragen 12,95 m und sind ein Vielfaches von 2,16 m. Die lichten Raumhöhen der Normengebäude wurden in allen Geschossen einheitlich mit 3,30 m festgelegt. Diese Höhe ergibt sich aus dem Einbaumaß der Gestelle.

Um die Gebäude gegen äußere Einwirkungen verschiedener Art zu sichern, sind im Kellergeschoß grundsätzlich keine Lichtöffnungen vorgesehen und aus dem gleichen Grunde sind im Erd- bzw. Obergeschoß so wenig Fenster wie möglich eingeplant.

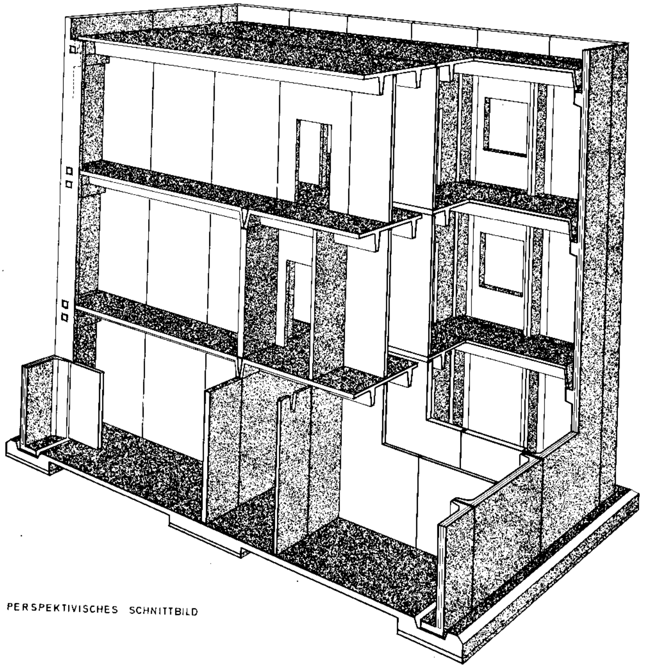
Die Normengebäude werden in einer Großtafelbauweise aus Stahlbetonfertigteilen errichtet, die in einem Betonwerk hergestellt werden. Bei der übereinstimmenden Gebäudebreite können die gleichen Dach-Deckenelemente für alle Normengebäude verwendet werden. Für die zweigeschossigen Gebäude Fe N2e und Fe N4e bzw. für die dreigeschossigen Gebäude Fe N3 und Fe N4 können jeweils die gleichen Außenwandelemente verwendet werden.

C. Konstruktion

Die Bestrebungen gingen dahin, die Gebäude nach Möglichkeit aus wenigen, gleichartigen und großen Bauelementen zusammenzusetzen, um einerseits die Fertigung rationell, andererseits die Montage einfach und kurzfristig durchführen zu können. Die Bauweise ist konstruktiv ein Tragsystem aus flächenartigen Elementen. Sie haben eine doppelte Funktion: Tragend und zugleich raumbegrenzend. Die


HORIZONTALSCHNITT AUSSENWANDELEMENT
55
VERTIKALSCHNITT DECKENELEMENT
52⁵
VERTIKALSCHNITT TREPPENELEMENTE
52⁵
HORIZONTALSCHNITT JNNENWANDELEMENT
16
HORIZONTALSCHNITT JNNENWANDELEMENT
7
2.15
DACHELEMENT
DECKENELEMENTE
JNNENWANDELEMENT
DECKENELEMENTE
JNNENWANDELEMENT
AUSSENWANDELEMENT
AUSSENWANDELEMENT
FUNDAMENT

SYSTEMBILD



PERSPEKTIVISCHES SCHNITTBILD

Bild 4. Horizontalschnitt der Innen- und Außenwandelemente
Systembild der Konstruktion
Perspektivisches Schnittbild
(Entwurf: Architekt Prof. Dr.-Ing. W. Henn, TH Braunschweig)

Konstruktion weist nur wenige unterschiedliche Einzelelemente auf (Bild 4). Der konstruktive Aufbau besteht im wesentlichen aus fünf verschiedenen Großtafel-Elementen: Außenwandelemente, tragende und aussteifende Innenwandelemente, nichttragende Innenwandelemente, Deckenelemente, Treppenelemente.

(1) Die **Außenwandelemente** sind Außenhaut und tragende Wand zugleich. Sie bilden das Auflager für die gleichbreiten Deckenelemente und gehen über die gesamte Gebäudehöhe; d. h. vom Kellerfußboden bis zur Dachoberkante. Sie haben damit eine Höhe von 8,75 m (Fe N2e, Fe N4e) bzw. 12,75 m (Fe N3, Fe N4). Die Außenwandplatten werden als dreischichtige „Sandwichplatten“ ausgebildet, um in einer einzigen Platte die Forderung nach einem statisch tragenden Teil, der nötigen Wärmedämmung und der wetterfesten Außenschale zu erfüllen. Die tragende Innenschale erhält dabei eine Dicke von etwa 6—8 cm sowie seitliche Verstärkungsrippen, die in den Innenraum hineinragen, mit den Ausmaßen von etwa 12 × 35 cm. Es entsteht dadurch ein U-förmiges, sich zum Raum öffnendes Element.

Die Außenschale des Elementes ist mit nichtrostenden Stahlankern mit der Innenschale, dem tragenden Teil des Elementes, verbunden. Die Stahlanker gehen durch die zwischen den beiden Schalen liegende Wärmedämmschicht hindurch, und sie sind mit je einem Stück auf einen Quadratmeter über die ganze Fläche verteilt. Der in der Erde liegende Teil der äußeren Schale ist an seiner Unterkante mit der inneren Schale zusammenbetoniert. Der obere Teil der Außenschale reicht von 20 cm über dem Erdreich bis zur Dachgesimskante. Er ist von dem unteren, in der Erde liegenden Teil durch eine Fuge getrennt. Es ist somit möglich, daß sich der obere Teil der Außenschale, der sich durch Witterungseinflüsse im Gegensatz zu dem auf gleichbleibender Raumtemperatur gehaltenen und durch die Wärmedämmschicht getrennten inneren Teil des Elementes erwärmt oder abkühlt, ungehindert und unabhängig von der Innenschale ausdehnen bzw. zusammenziehen kann. Die seitlichen, zu den Nachbarelementen liegenden Fugen erlauben diese Dehnungen, da sie mit dauerelastischem Kitt ausgefüllt sind. Spannungen innerhalb des mehrschichtigen Außenwandelementes können also nicht auftreten. Die Bewegungen der äußeren gegenüber der inneren Schale durch Kriechen beim Abbindevorgang sind zu vernachlässigen.

Fenster- und Türöffnungen können aus der Wandplatte ausgespart werden. Die Außenwandelemente werden in gleicher Form an allen Außenwänden, also auch an den Giebelseiten des Gebäudes verwendet. Hier übernehmen sie keine tragende Funktion, sondern dienen lediglich als Abschlußwand. Die Außenwandelemente werden in die Aussparungen einer am Ort betonierten oder vorgefertigten Fundamentplatte eingestellt. An ihrem unteren Ende haben die Wandelemente einen Fuß mit zwei einbetonierten Hülsen. Diese Hülsen schieben sich auf zwei Dorne, die in die Fundamentaussparung eingesetzt werden. Damit wird erreicht, daß die Elemente beim Versetzen zentriert und mögliche Verschiebungen vermieden werden.

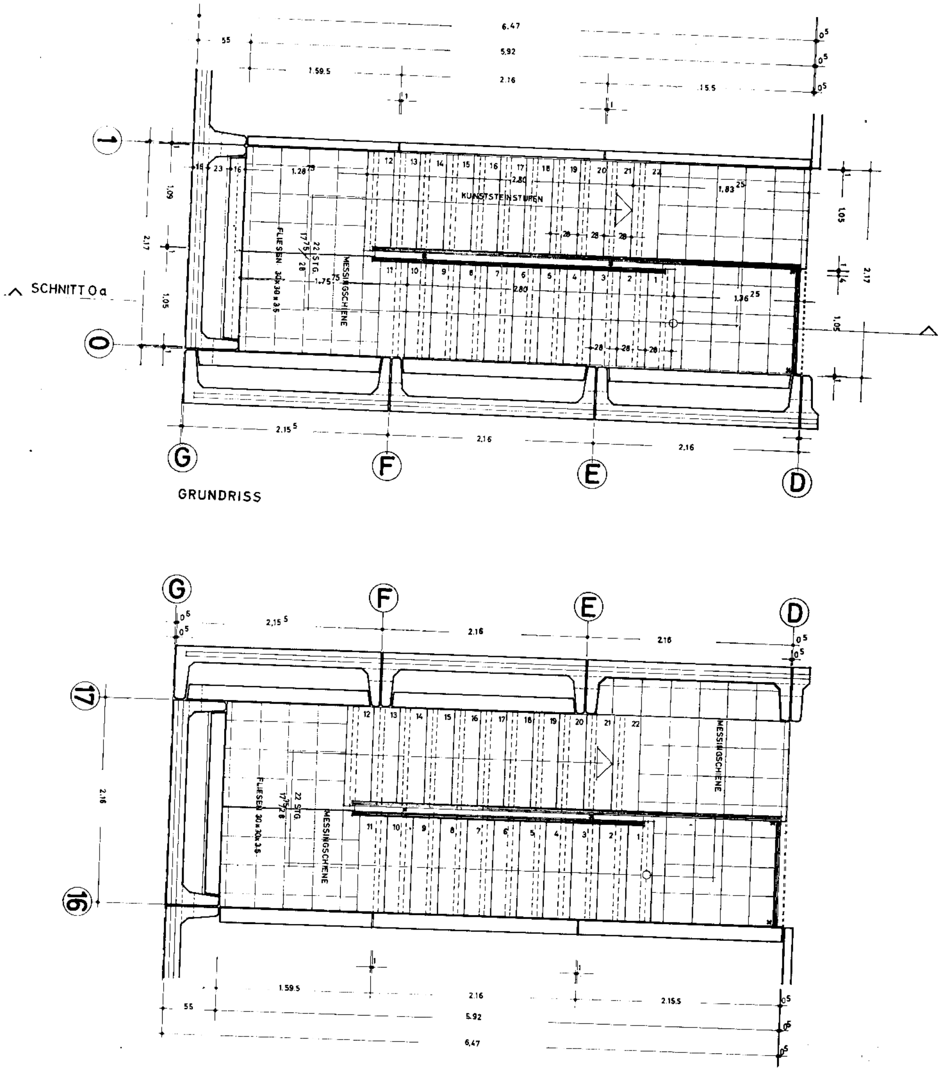
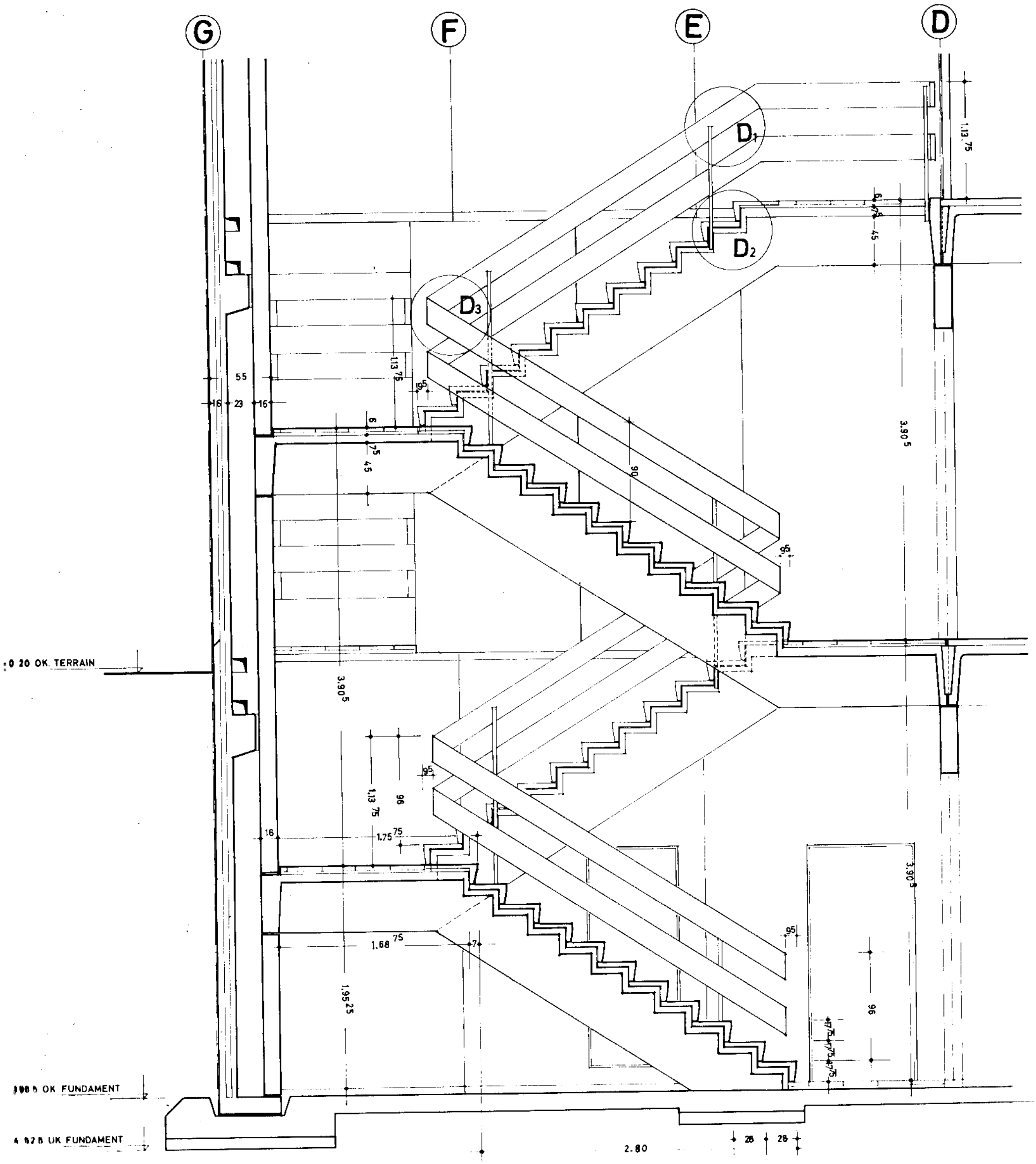

6.47
5.92
55
1.59.5
2.16
15.5
1
0
SCHNITT 0a
KUNSTSTEINSTUFEN
FLIESEN 30x30x3.5
22 STG. 17,75/28
MESSINGSCHIENE
2.80
1.28
1.83
1.36
1.75
1.09
1.05
2.17
2.15 5
2.16
G
F
E
D
GRUNDRISS
17
16
2.16
2.15.5

Bild 5. Treppe der Normengebäude Fe N3 und Fe N4
(Entwurf: Architekt Prof. Dr.-Ing. W. Henn, TH Braunschweig)


G
F
E
D
D1
D2
D3
1.13 75
3.90 5
55
16
23
16
1.13 75
95
6
7 5
45
90
95
±0 20 OK. TERRAIN
3.90 5
1.13 75
96
95
16
1.75 75
3.90 5
1.68 75
7
95
1.95 25
96
OK FUNDAMENT
UK FUNDAMENT
2.80
28
28

SCHNITT Oa

noch Bild 5.

(2) **Die tragenden und aussteifenden Innenwandelemente** sind geschoßhoch. Sie dienen in Gebäudelängsrichtung der in der Mitte liegenden Achse als Auflager für die Deckenelemente im Keller- und im Erdgeschoß. In Gebäudequerrichtung dienen sie im Kellergeschoß als aussteifende Scheiben, die die Horizontalkräfte von der Kellerdeckenplatte in die Fundamente ableiten. Sie werden in festgelegten Achsen angeordnet und sind statisch wirksam. Sie können somit nicht verändert oder herausgenommen werden.

(3) **Die nichttragenden Innenwandelemente** sind ebenfalls geschoßhoch und werden gleichzeitig mit der Errichtung des Gebäudes eingebaut. Änderungen in der Raumaufteilung müssen demnach vor der Montage geplant sein, weil ein Verschieben oder Herausnehmen dieser Betonelemente nur mit größerem Aufwand möglich wäre. Trennwände, deren Veränderbarkeit beabsichtigt ist, werden als Stahlrahmenwände mit einem Füllmaterial vorgesehen.

(4) **Die Deckenelemente** werden in drei verschiedenen Längen und für drei unterschiedliche Belastungen hergestellt. Da die geforderten Nutzlasten für die Kellergeschoßdecke 2000 kp/m^2 und für die Erdgeschoßdecke 1000 kp/m^2 betragen, wurden die Deckenelemente geteilt und bei den Gebäuden Fe N3, Fe N4 auf eine tragende Mittelwand, bei den Gebäuden Fe N2e, Fe N4e auf zwei tragende Mittelwände aufgelegt. Diese Deckenelemente erhalten damit eine Spannweite von 6,18 m bzw. von 4,10 m. Für die Dachdeckenelemente müssen lediglich die Lasten aus Eigengewicht und Schnee angesetzt werden. Dadurch ist es möglich, diese geringer belasteten Deckenelemente über die gesamte Gebäudebreite von 12,95 m frei zu spannen und mit denselben Querschnittsabmessungen wie für die übrigen Deckenelemente auszukommen. Der Querschnitt aller Deckenelemente hat die Doppel-T-Form; d. h. eine Platte von 7,5 cm Dicke und 2,15 m Breite mit darunterliegenden 45 cm hohen Balken bzw. Rippen im Abstand von 1,08 m. Die verschiedene Tragfähigkeit der Deckenelemente wird durch unterschiedliche Bewehrung erreicht.

(5) **Die Treppenelemente** sind für alle Gebäude in ihrer Konstruktion und Ausführung die gleichen. Die einzelne Treppe besteht aus zwei gleichen geknickten Balken, auf denen lediglich Tritt- und Setzstufen aus Kunststein versetzt werden (Bild 5).

Die Türen- und Fensterelemente sind ebenfalls bei allen Gebäuden die gleichen. Die Gebäude erhalten keinen Innen- und Außenputz; sie werden nahezu „trocken“ errichtet. Damit sind die Voraussetzungen für eine rationelle Bauweise in Fertigteilen gegeben.

Auf die einwandfreie technische Ausbildung der Fugen bei den Außen- und Innenwänden wurde besonderer Wert gelegt. Alle Fertigteile wurden so bemessen, daß bei der Montage ein Abstand von 10 mm als Fuge entsteht, der mit einer Genauigkeit von ± 2 mm eingehalten werden soll. Bei den Außenwandelementen wird diese 10 mm breite Fuge, deren Dichtigkeit für das gesamte Gebäude entscheidend ist, nach außen und nach innen mit einer dauerelastischen Dichtungsmasse auf der Grundlage eines flüssigen Polysulfidkautschuks geschlossen. Die Fuge hat entsprechend den Rippenvorlagen der Elemente eine Tiefe von 55 cm; deshalb muß wegen der Begrenzung der Fugentiefe auf jeweils 10 mm innen und außen vorher ein Schaumgummiprofil in die Fuge eingedrückt werden. Mit der zum Innenraum liegenden elastischen Fugendichtung muß die Dampfsperrenschicht lückenlos geschlossen werden. Die Dampfsperrenschicht liegt an der Breitseite der Platten vor der Wärmedämmschicht als Folie und wird im inneren Bereich der Fuge an den Rippenflächen dampfdicht angestrichen. Um eine Luftzirkulation im Bereich des entstehenden Hohlraumes der Fuge zwischen äußerer und innerer Fugendichtung zu verhindern, wird dieser Hohlraum mit einem Kunststoff ausgeschäumt.

Bei den Innenwandelementen wird die 10 mm breite Fuge beidseitig ebenfalls mit einer dauerelastischen Dichtungsmasse geschlossen. Diese aufwendige Fugenausbildung im Innenraum ist wegen der geforderten Staubfreiheit der Innenräume notwendig. Ein Lockern und späteres Herausbröseln von Verfugungen soll hierdurch mit Sicherheit vermieden werden. Die Fugenausbildung der Außenwandelemente ist in Bild 6 dargestellt.

Für die Gründung der Gebäude sind drei Möglichkeiten der Ausführung vorgesehen, und zwar in nicht grundwassergefährdeten Böden — nichtdrückendes Wasser —:

a) Streifenfundamente aus Ortbeton oder Betonfertigteilen bei gut tragfähigem Boden (Bild 7).

b) Ortbetonbodenplatte bei weniger tragfähigem Boden.

In grundwassergefährdeten Böden — drückendes Wasser —:

c) Ortbetonbodenplatte wie bei weniger tragfähigem Boden und Wannenausbildung (Bild 8).

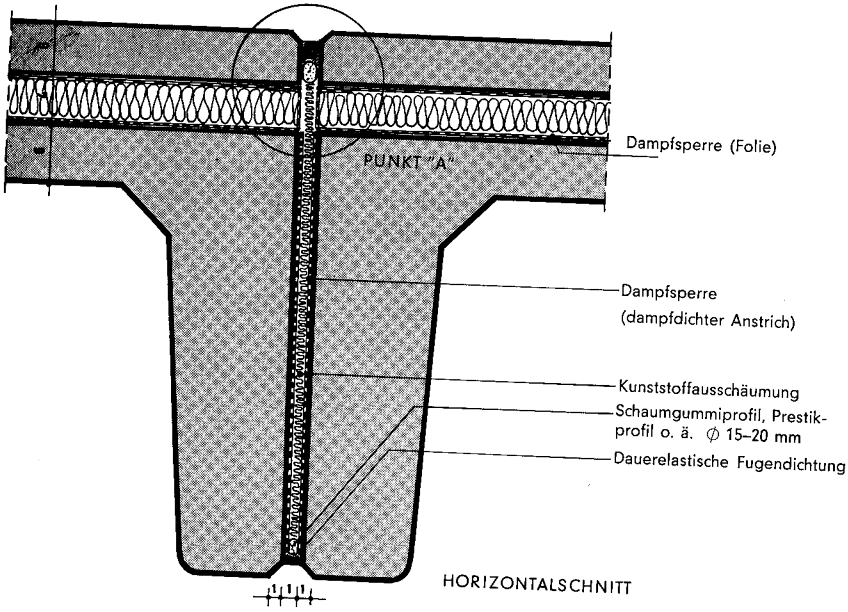
D. Gestaltung

Die Bauweise in großformatigen Fertigteilplatten ermöglicht es, der Außenhaut des Gebäudes schon im Betonwerk die endgültige Beschaffenheit zu geben. Für die Normengebäude wird eine glatte Sichtbeton- oder Waschbetonoberfläche der Außenwandplatten vorgeschlagen. Sie läßt sich durch Einlegen von Profilleisten in die Schalung gliedern. Die Sichtbetonflächen der Außenwandplatten sollen nach der Aufstellung mit einer wetterfesten Farbe gestrichen werden. Dabei können der Sockel, die Wandteile und ein oberes breites Gesimsband verschiedenfarbig behandelt werden. Die farbliche Behandlung der Außenwände kann der umgebenden Bebauung angepaßt oder in den ortsüblichen Farben gehalten werden.

Die Normengebäude lassen sich in die verschiedenen Bebauungspläne mit unterschiedlich vorgeschriebenen Geschoßzahlen günstig einordnen, weil für das Gebäude mit 16 000 BE einmal eine ebenerdige Lösung (Fe N4e) und zum anderen eine Lösung mit Erd- und Obergeschoß (Fe N4) zur Verfügung stehen.

E. Ausschreibung und Vergabe

Zur wirtschaftlichen Ausnutzung der Schalungsformen für die Fertigteile ist ein Mindestauftrag von 5 Normengebäuden erforderlich.


PUNKT "A"
Dampfsperre (Folie)
Dampfsperre
(dampfdichter Anstrich)
Kunststoffausschäumung
Schaumgummiprofil, Prestikprofil o. ä. ⌀ 15–20 mm
Dauerelastische Fugendichtung
1 1 1
HORIZONTALSCHNITT

PUNKT "A"

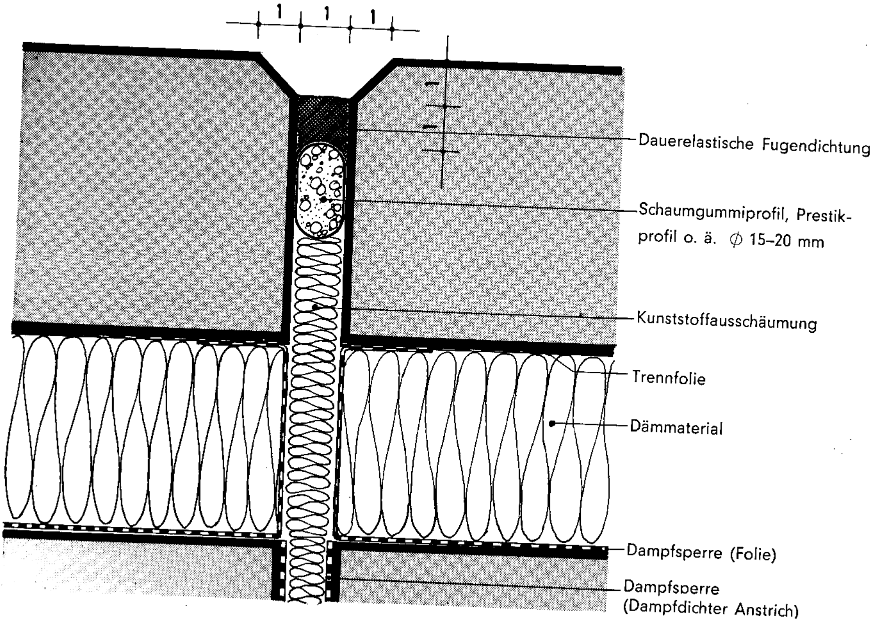

1 1 1
Dauerelastische Fugendichtung
Schaumgummiprofil, Prestikprofil o. ä. ⌀ 15–20 mm
Kunststoffausschäumung
Trennfolie
Dämmaterial
Dampfsperre (Folie)
Dampfsperre
(Dampfdichter Anstrich)

Bild 6. Fugenausbildung der Außenwand
(Entwurf: Architekt Prof. Dr.-Ing. W. Henn, TH Braunschweig)

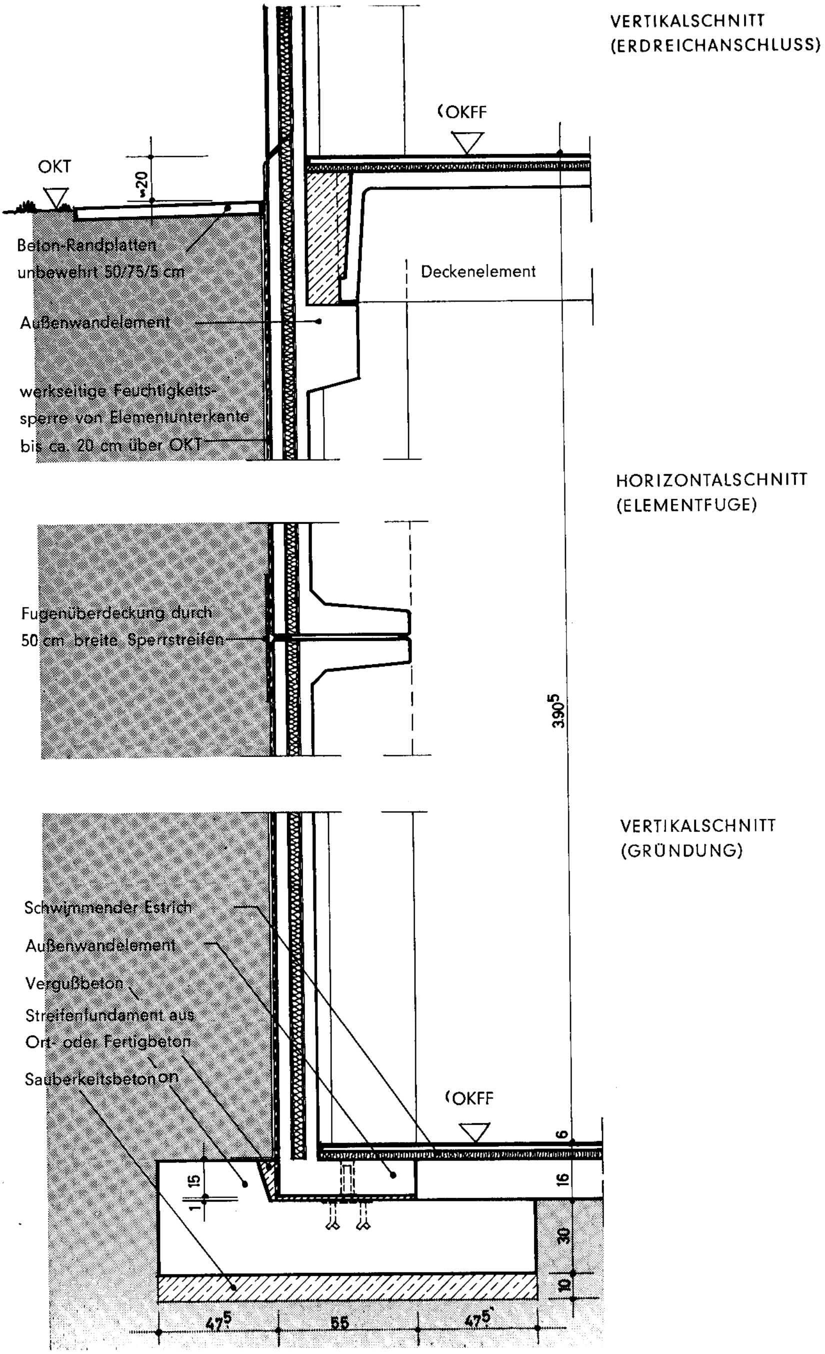

VERTIKALSCHNITT
(ERDREICHANSCHLUSS)
OKFF
OKT
≈20
Beton-Randplatten
unbewehrt 50/75/5 cm
Deckenelement
Außenwandelement
werkseitige Feuchtigkeits-
sperre von Elementunterkante
bis ca. 20 cm über OKT
HORIZONTALSCHNITT
(ELEMENTFUGE)
Fugenüberdeckung durch
50 cm breite Sperrstreifen
390⁵
VERTIKALSCHNITT
(GRÜNDUNG)
Schwimmender Estrich
Außenwandelement
Vergußbeton
Streifenfundament aus
Ort- oder Fertigbeton
Sauberkeitsbetonon
OKFF
6
16
30
10
15
1
47⁵
55
47⁵

Bild 7. Gründung mit Streifenfundamenten in nicht grundwassergefährdeten Böden mit einer Tragfähigkeit von 2 kp/cm^2 und mehr
(Entwurf: Architekt Prof. Dr.-Ing. W. Henn, TH Braunschweig)

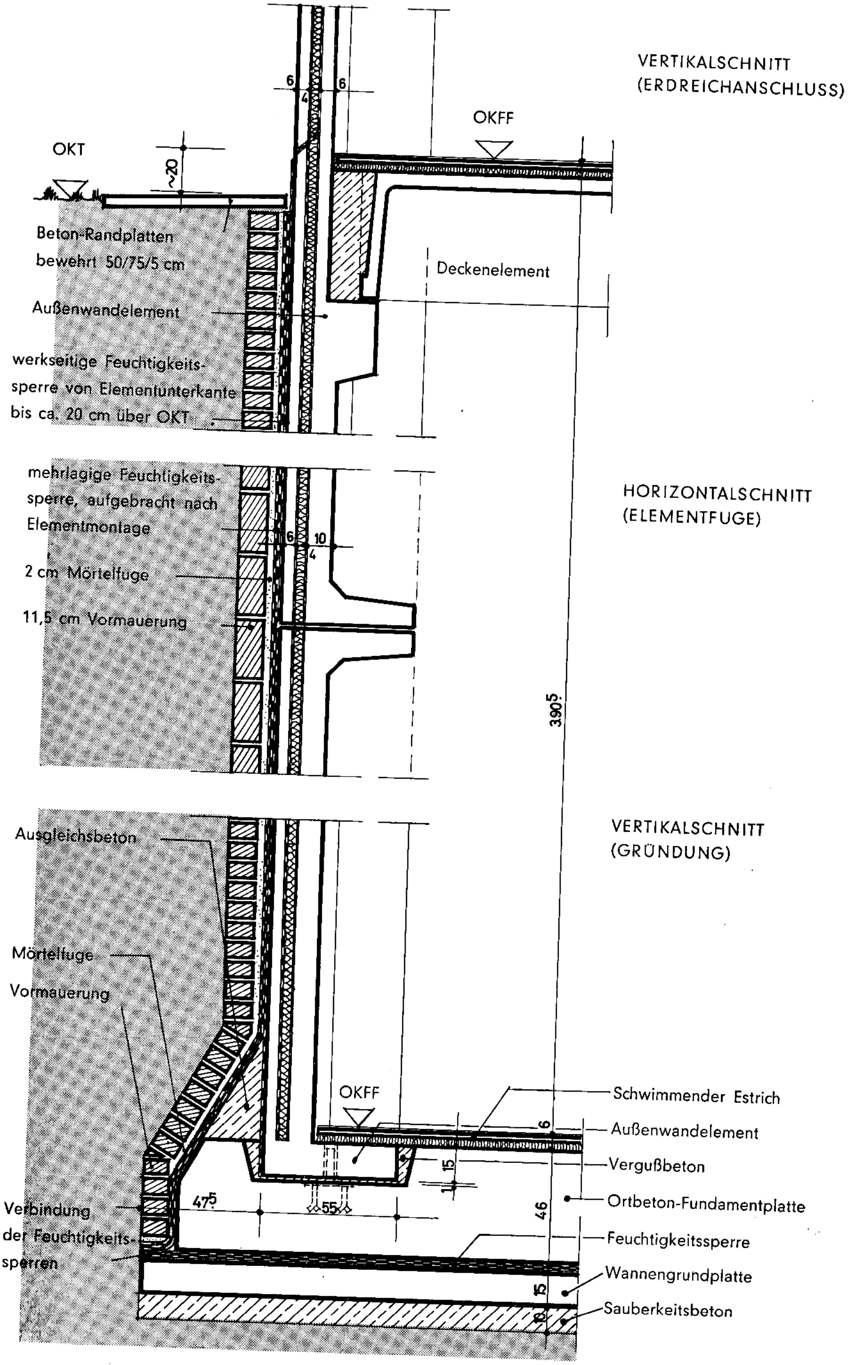

VERTIKALSCHNITT (ERDREICHANSCHLUSS)
OKT
OKFF
~20
6
4
6
Beton-Randplatten bewehrt 50/75/5 cm
Außenwandelement
werkseitige Feuchtigkeitssperre von Elementunterkante bis ca. 20 cm über OKT
Deckenelement
HORIZONTALSCHNITT (ELEMENTFUGE)
mehrlagige Feuchtigkeitssperre, aufgebracht nach Elementmontage
2 cm Mörtelfuge
11,5 cm Vormauerung
6
10
4
3905
VERTIKALSCHNITT (GRÜNDUNG)
Ausgleichsbeton
Mörtelfuge
Vormauerung
Verbindung der Feuchtigkeitssperren
OKFF
47,5
55
15
6
46
15
Schwimmender Estrich
Außenwandelement
Vergußbeton
Ortbeton-Fundamentplatte
Feuchtigkeitssperre
Wannengrundplatte
Sauberkeitsbeton

Bild 8. Gründung mit Ortbetonplatte und Wannenausbildung in grundwassergefährdeten Böden
(Entwurf: Architekt Prof. Dr.-Ing. W. Henn, TH Braunschweig)

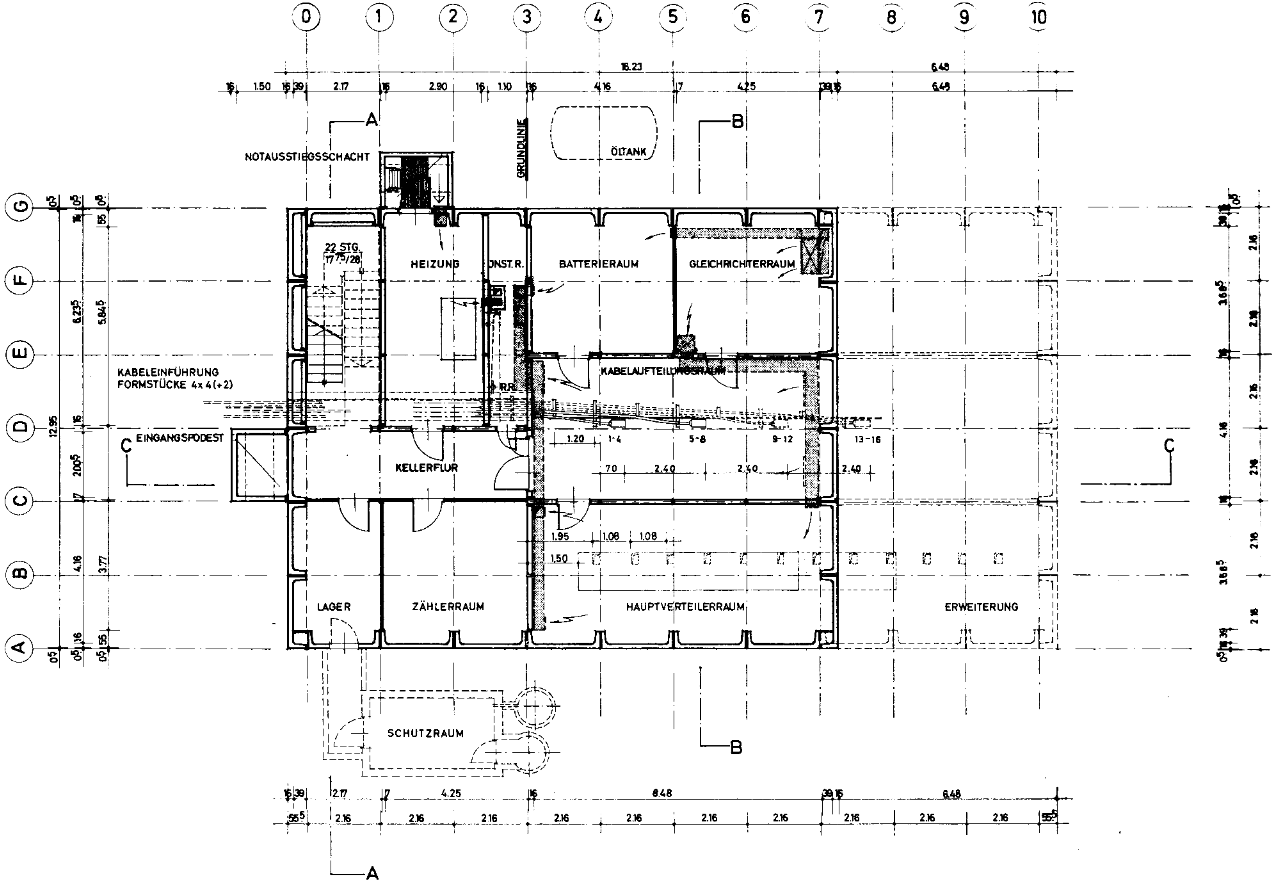

0
1
2
3
4
5
6
7
8
9
10
A
B
C
D
E
F
G
16.23
6.48
1.50
2.17
2.90
1.10
4.16
4.25
12.95
4.16
3.77
6.235
5.84⁵
2.00⁵
8.48
2.16
3.66⁵
NOTAUSSTIEGSSCHACHT
GRUNDLINIE
ÖLTANK
22 STG. 17⁷⁵/28
HEIZUNG
DNST.R.
BATTERIERAUM
GLEICHRICHTERRAUM
KABELEINFÜHRUNG
FORMSTÜCKE 4x4(+2)
RR
KABELAUFTEILUNGSRAUM
EINGANGSPODEST
KELLERFLUR
1.20
1-4
5-8
9-12
13-16
70
2.40
1.95
1.08
1.50
LAGER
ZÄHLERRAUM
HAUPTVERTEILERRAUM
ERWEITERUNG
SCHUTZRAUM

Bild 9. Fe N2e Kellergeschoß (Entwurf: Architekt Prof. Dr.-Ing. W. Henn, TH Braunschweig)

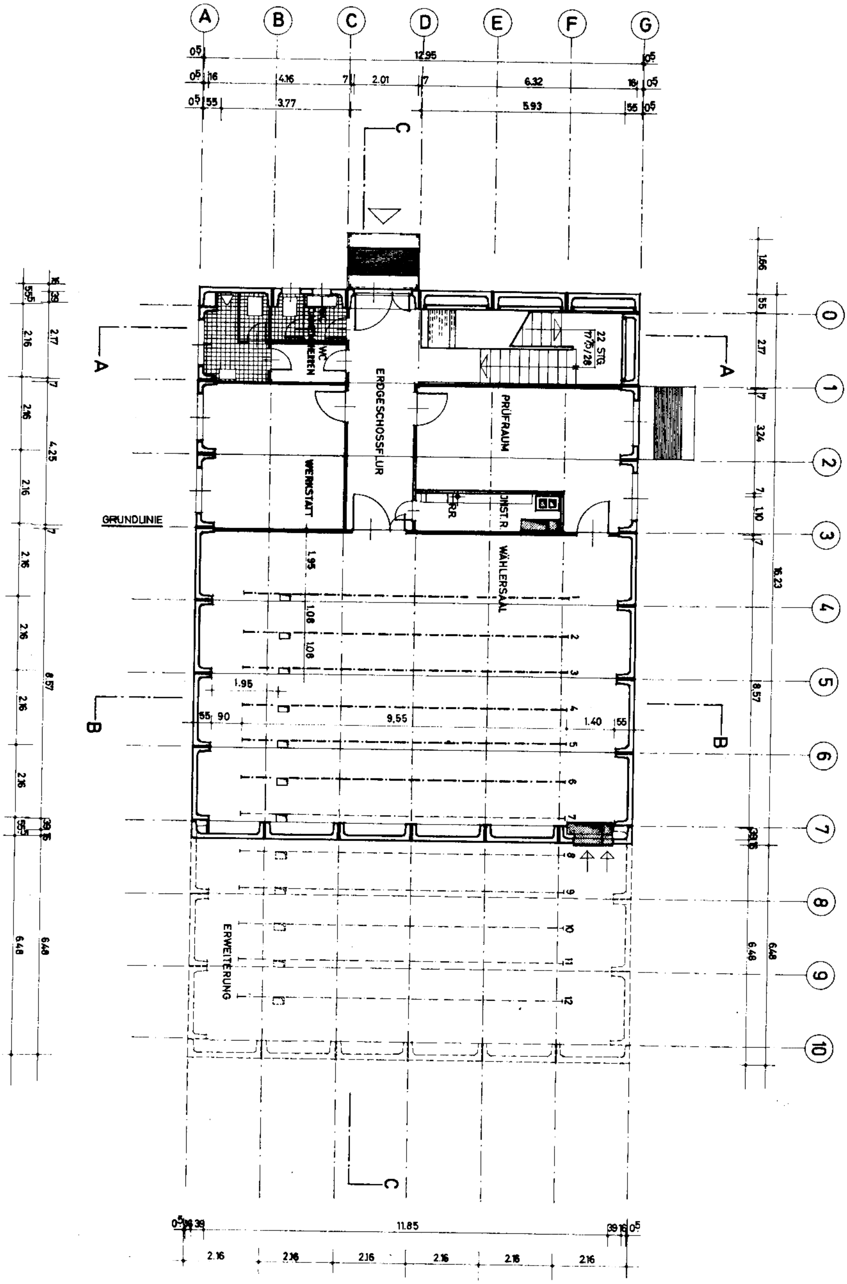

A
B
C
D
E
F
G
0
1
2
3
4
5
6
7
8
9
10
12.95
4.16
2.01
6.32
3.77
5.93
WC
ERDGESCHOSSFLUR
PRÜFRAUM
22 STG. 17,75/28
WERKSTATT
DNST.R.
RR
WÄHLERSAAL
GRUNDLINIE
ERWEITERUNG
1.95
1.08
9.55
1.40
16.23
8.57
6.48
11.85
2.16
A
B
C

Bild 10. Fe N2e Erdgeschoß
(Entwurf: Architekt Prof. Dr.-Ing. W. Henn, TH Braunschweig)

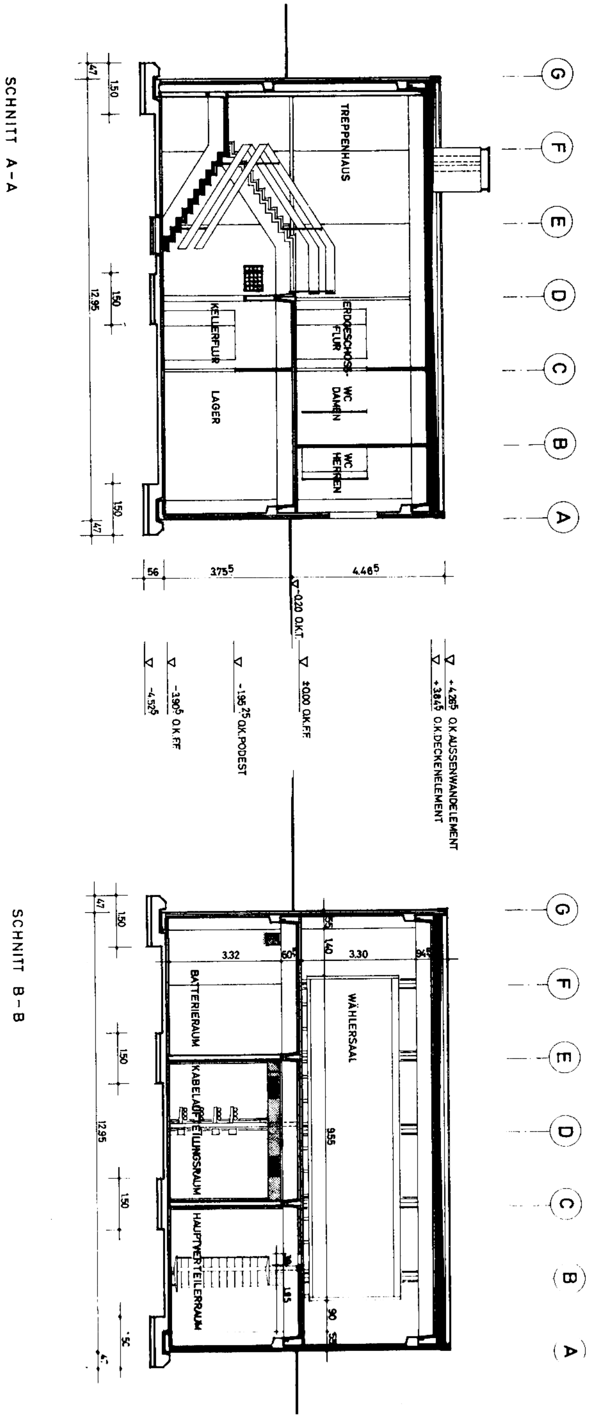

SCHNITT A-A
G
F
E
D
C
B
A
TREPPENHAUS
ERDGESCHOSS-FLUR
KELLERFLUR
LAGER
WC DAMEN
WC HERREN
47
150
12.95
150
150
47
56
375⁵
4.46⁵
-0.20 O.K.T.
+4.26⁵ O.K.AUSSENWANDELEMENT
+3.84⁵ O.K.DECKENELEMENT
±0.00 O.K.FF.
-1.95²⁵ O.K.PODEST
-3.90⁵ O.K.FF.
-4.52⁵
SCHNITT B-B
BATTERIERAUM
KABELAUFTEILUNGSRAUM
HAUPTVERTEILERRAUM
WÄHLERSAAL
3.32
60⁵
55
1.40
3.30
94⁵
9.55
1.15
90
55
47
150
150
12.95
150
50
47

Bild 11. Fe N2e Querschnitte, Schnitt A-A und Schnitt B-B
(Entwurf: Architekt Prof. Dr.-Ing. W. Henn, TH Braunschweig)

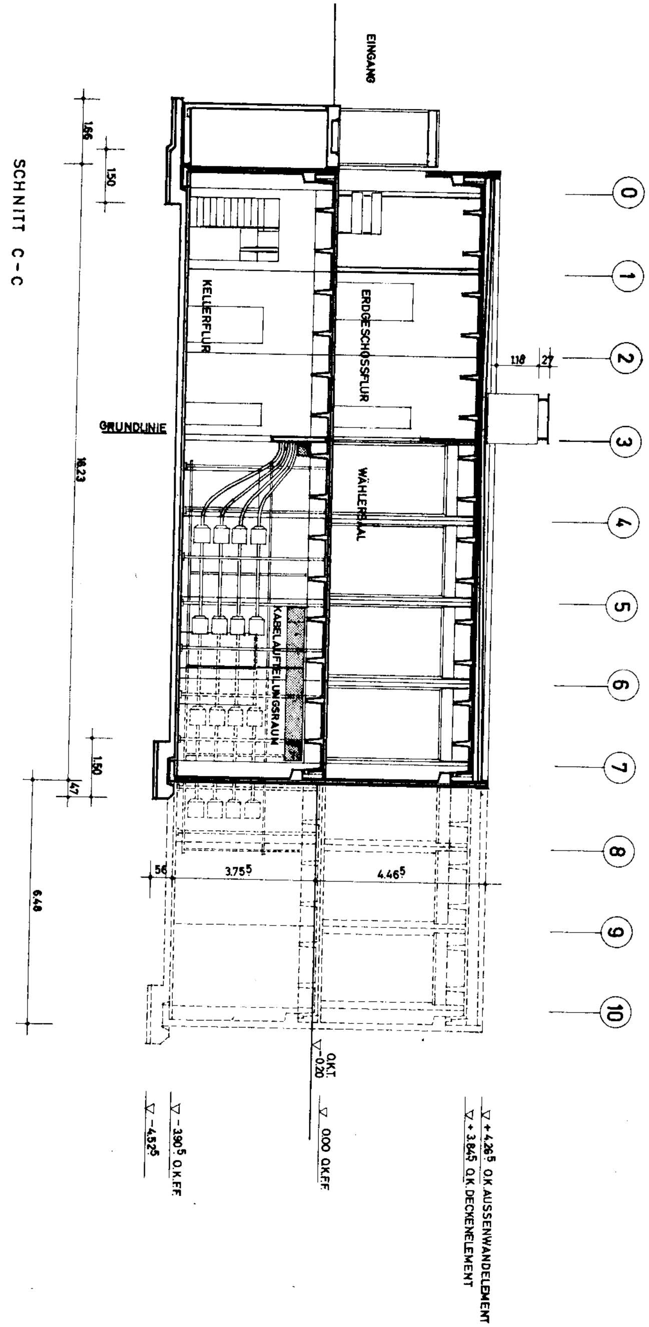
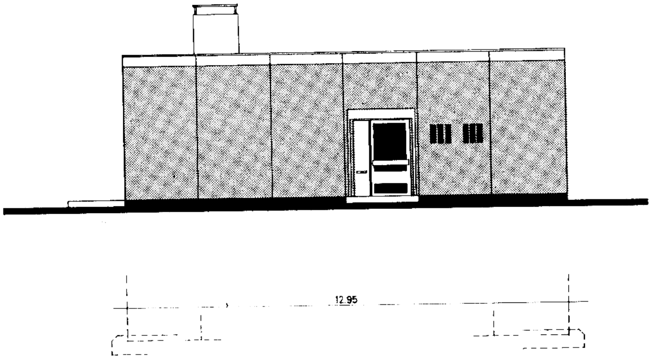
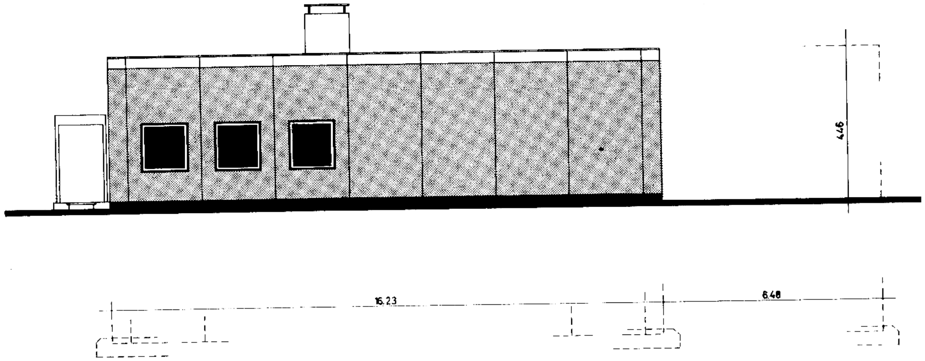

SCHNITT C-C
EINGANG
KELLERFLUR
ERDGESCHOSSFLUR
WÄHLERSAAL
GRUNDLINIE
KABELAUFTEILUNGSRAUM
1.66
1.50
16.23
1.50
47
6.48
56
3.75⁵
4.46⁵
1.18
27
0
1
2
3
4
5
6
7
8
9
10
O.K.T. -0.20
▽ 0.00 O.K.F.F.
▽ -3.90⁵ O.K.F.F.
▽ -4.52⁵
▽ +4.26⁵ O.K. AUSSENWANDELEMENT
▽ +3.84⁵ O.K. DECKENELEMENT

Bild 12. Fe N2e Längsschnitt C-C
(Entwurf: Architekt Prof. Dr.-Ing. W. Henn, TH Braunschweig)



ANSICHT ACHSE O



ANSICHT ACHSE A

Bild 13. Fe N2e Ansichten Achse O und Achse A
(Entwurf: Architekt Prof. Dr.-Ing. W. Henn, TH Braunschweig)

Die Fertigteile werden vom Betonwerk zu den einzelnen Baustellen transportiert; dabei sind Entfernungen bis zu 200 km wirtschaftlich. Um die Vergabe an einen Generalunternehmer von mindestens 5 Normengebäuden zusammenfassen zu können, ist beabsichtigt, geschäftsführende Oberpostdirektionen für diese Baumaßnahmen einzusetzen.

IV. Beschreibung der einzelnen Normengebäude

In den vorangegangenen Abschnitten wurden die fernmelde- und hochbautechnischen Überlegungen und Grundsätze erläutert, die zur Planung, Bauweise, Konstruktion und Gestaltung der Normengebäude führten. Im folgenden werden in kurzer Form die einzelnen Gebäude ergänzend beschrieben; dabei wird auf Gemeinsames und Unterschiedliches der jeweiligen Grundrißlösung hingewiesen.

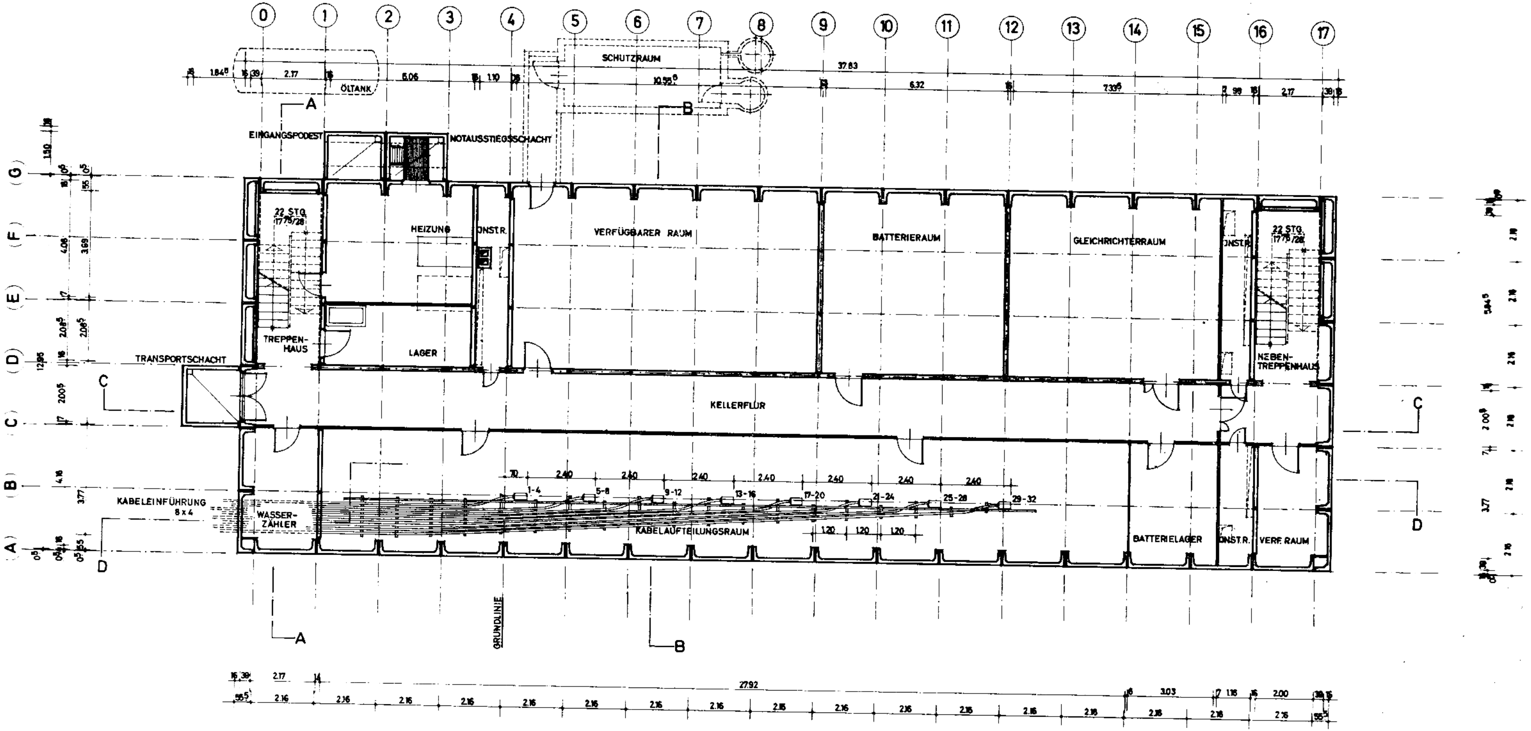

SCHUTZRAUM
ÖLTANK
EINGANGSPODEST
NOTAUSSTIEGSSCHACHT
TRANSPORTSCHACHT
22 STG. 17,75/28
TREPPEN-HAUS
HEIZUNG
LAGER
INSTR.
VERFÜGBARER RAUM
BATTERIERAUM
GLEICHRICHTERRAUM
NEBEN-TREPPENHAUS
KELLERFLUR
KABELEINFÜHRUNG 8 x 4
WASSER-ZÄHLER
KABELAUFTEILUNGSRAUM
BATTERIELAGER
VERF. RAUM
GRUNDLINIE
37.83
27.92

Bild 14. Fe N4e Kellergeschoß ohne Hochspannungsanlage und Traforaum (Entwurf: Architekt Prof. Dr.-Ing. W. Henn, TH Braunschweig)

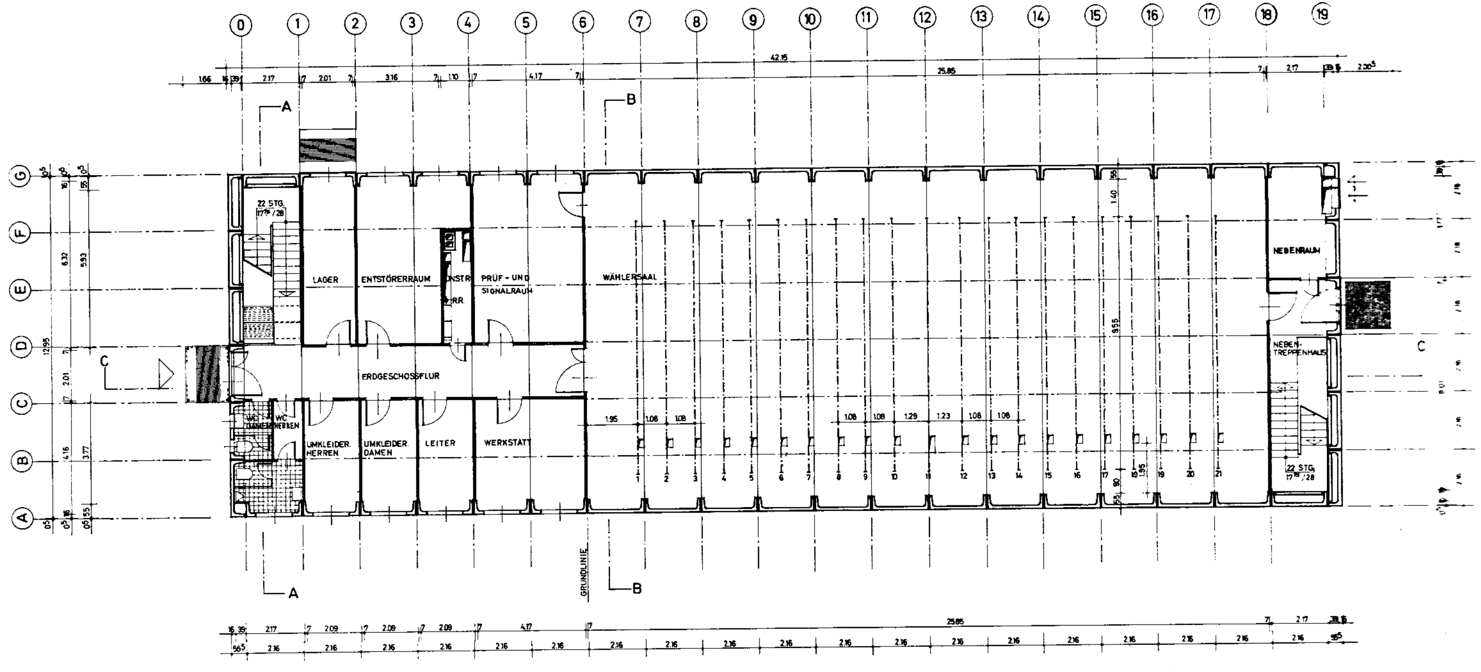

LAGER
ENTSTÖRERRAUM
PRÜF- UND SIGNALRAUM
WÄHLERSAAL
ERDGESCHOSSFLUR
WC DAMEN
WC HERREN
UMKLEIDER. HERREN
UMKLEIDER. DAMEN
LEITER
WERKSTATT
NEBENRAUM
NEBEN-TREPPENHAUS
22 STG.
GRUNDLINIE
A
B
C

Bild 15. Fe N4e Erdgeschoß
(Entwurf: Architekt Prof. Dr.-Ing. W. Henn, TH Braunschweig)

A. Normengebäude Fe N2e und Fe N4e

1. Gebäudeabmessungen

Das Normengebäude Fe N2e (4500 BE) ist 16,23 m lang, 12,95 m breit und hat eine Höhe von etwa 4,50 m über Gelände. Es hat ein Keller- und ein Erdgeschoß und kann bis zu drei Achsen auf eine Länge von 22,71 m erweitert werden. Damit werden insgesamt 8000 Beschaltungseinheiten geschaffen (Bild 9 bis 13).

Das Normengebäude Fe N4e (16 000 BE) ist 42,15 m lang, 12,95 m breit und hat eine Höhe von etwa 4,50 m über Gelände. Es hat ebenfalls ein Keller- und ein Erdgeschoß. Es ist nicht beabsichtigt, dieses Gebäude zu erweitern (Bild 14 und 15).

2. Raumeinteilung

In beiden Gebäuden liegen im Kellergeschoß die Kabelaufteilung und der Hauptverteiler nebeneinander. Daraus folgt, daß der Wählersaal im Erdgeschoß liegt. Bei dieser Grundrißlösung bleibt die vom Betrieb geforderte waagerechte Muffenlage erhalten und ebenso die Zählweise von links nach rechts am Hauptverteiler und im Wählersaal.

Der fernmeldetechnische Betriebsablauf mit der neuen Zuordnung der parallelen Lage von Kabelaufteilung und Hauptverteiler führt im Grundsatz zur gleichen Raumaufteilung bei diesen beiden Normengebäuden. Es ist somit erreicht worden, daß das für die Normengebäude Fe N2e und Fe N4e geforderte Raumprogramm unter Wahrung der betrieblichen Funktion in einem zweigeschossigen, das heißt in einem ebenerdigen Baukörper untergebracht werden kann. Dabei wurden die Verkehrsflächen so klein wie möglich gehalten.

In dem Gebäude Fe N2e liegen im Kellergeschoß rechts der Grundlinie ohne Flurverbindung nebeneinander die Räume für Hauptverteiler, Kabelaufteilung, Batterie und Gleichrichter. Links der Grundlinie liegen der Zählerraum und ein Lager. Im Erdgeschoß liegen im Kopfteil der Prüf- und Signalraum und die Werkstatt, die durch einen Flur voneinander getrennt sind. Beide Räume grenzen an den Wählersaal.

In dem Gebäude Fe N4e liegen im Kellergeschoß rechts der Grundlinie, ebenfalls ohne Flurverbindung, die Räume für den Hauptverteiler und die Kabelaufteilung. Parallel zum langgestreckten Raum für die Kabelaufteilung folgen der Zählerraum, die Hochspannungsschaltanlage, der Traforaum, der Batterieraum und der Gleichrichterraum mit Vorraum und Lager. In den Fällen, in denen auf die Hochspannungsschaltanlage verzichtet werden kann, entsteht eine Raumreserve. Im Erdgeschoß sind im Vergleich zum Fe N2e-Gebäude auch hier an der gleichen Stelle der Prüf- und Signalraum sowie die Werkstatt unmittelbar an den Wählersaal angeordnet. Der große Wählersaal weist das Mehrfache an Gestellreihen mit Wähleinrichtungen auf. Deshalb sind mehr Betriebsräume erforderlich. So liegen in dem vergrößerten Kopfteil noch ein Raum für den Leiter des Betriebs, ein Entstörerraum und ein Lager. Wegen der Länge dieses Gebäudes ist am anderen Kopfende eine zweite Treppe vorgesehen.

B. Normengebäude Fe N3 und Fe N4

1. Gebäudeabmessungen

Das Gebäude Fe N3 (8000 BE) ist 24,87 m lang, 12,95 m breit und hat eine Höhe von etwa 8,50 m über Gelände. Es hat ein Keller-, Erd- und Obergeschoß und kann bis zu 6 Achsen auf eine Länge von 37,83 m erweitert werden. Nach der vollen Erweiterung entspricht es bezüglich der Gebäudeabmessungen, der Aufnahme von Beschaltungseinheiten und der Raumeinteilung dem Normengebäude Fe N4 (16 000 BE). Die Bilder 16 bis 18 zeigen das Gebäude Fe N3 und die Bilder 19 bis 24 das Gebäude Fe N4. Bild 25 zeigt das Raumprogramm des Fe N4-Gebäudes, entstanden aus dem betrieblichen und technischen Zusammenhang sowie dem jeweiligen Flächenbedarf.

2. Raumeinteilung

Diese beiden Normengebäude sind in ihrer Grundrißlösung den Typenhäusern Fe 3 und Fe 4 ähnlich. Der fernmeldetechnische Betriebsablauf wird wie bei diesen dadurch bestimmt, daß Kabeleinführung, Hauptverteiler und Wählersaal unmittelbar übereinander liegen. Daraus folgt, daß der fernmeldetechnische Betrieb mit einer günstigen und kurzen Kabelführung in drei Geschossen vor sich geht.

Wegen der möglichen Erweiterung des Fe N3-Gebäudes bis zur Größe eines Fe N4-Gebäudes ist der Kopfteil in allen Geschossen gleich groß ausgebildet und zeigt dieselbe Raumeinteilung. Das bedeutet, daß beim Fe N3-Gebäude die Betriebsräume zunächst reichlich bemessen sind. Es ist hierbei gesichert, daß bei einer Erweiterung der Technik die Betriebsräume im Kopfteil nicht geändert werden müssen. Andererseits müssen bei einer Erweiterung Räume rechts der Grundlinie im Keller- und Erdgeschoß vergrößert werden. Um diese Absicht zu erleichtern, sind in diesen Räumen versetzbare Stahlrahmenwände vorgesehen.

In beiden Gebäuden liegen im Kellergeschoß die Kabelaufteilung und, durch einen Flur getrennt, auf der gegenüberliegenden Seite der Gleichrichter- und Batterieraum. Bei der Erweiterung des Normengebäudes Fe N3 werden lediglich der Gleichrichter- und Batterieraum um je eine Achse und der verfügbare Raum um zwei Achsen vergrößert.

Das Erdgeschoß, über seine ganze Länge durch einen Mittelflur getrennt, zeigt bei diesen Gebäuden auf der einen Seite den langgestreckten Raum für den Hauptverteiler und auf der anderen Seite den Entstörerraum, den Zählerraum und den Mehrzweckraum. Bei dem Gebäude Fe N4 folgen noch ein Mehrzweckraum und die Hochspannungsanlage mit dem Transformator. Dieses Gebäude hat wegen seiner Länge ebenfalls ein zweites Treppenhaus.

Im Obergeschoß sind im Kopfteil der Gebäude Fe N3 und Fe N4 der Prüf- und Signalraum und der Werkstattraum ebenso unmittelbar am Wählersaal angeordnet wie im Erdgeschoß der Gebäudegruppe Fe N2e, Fe N4e. Vor dem Werkstattraum liegt der Raum für den Leiter des Betriebs.

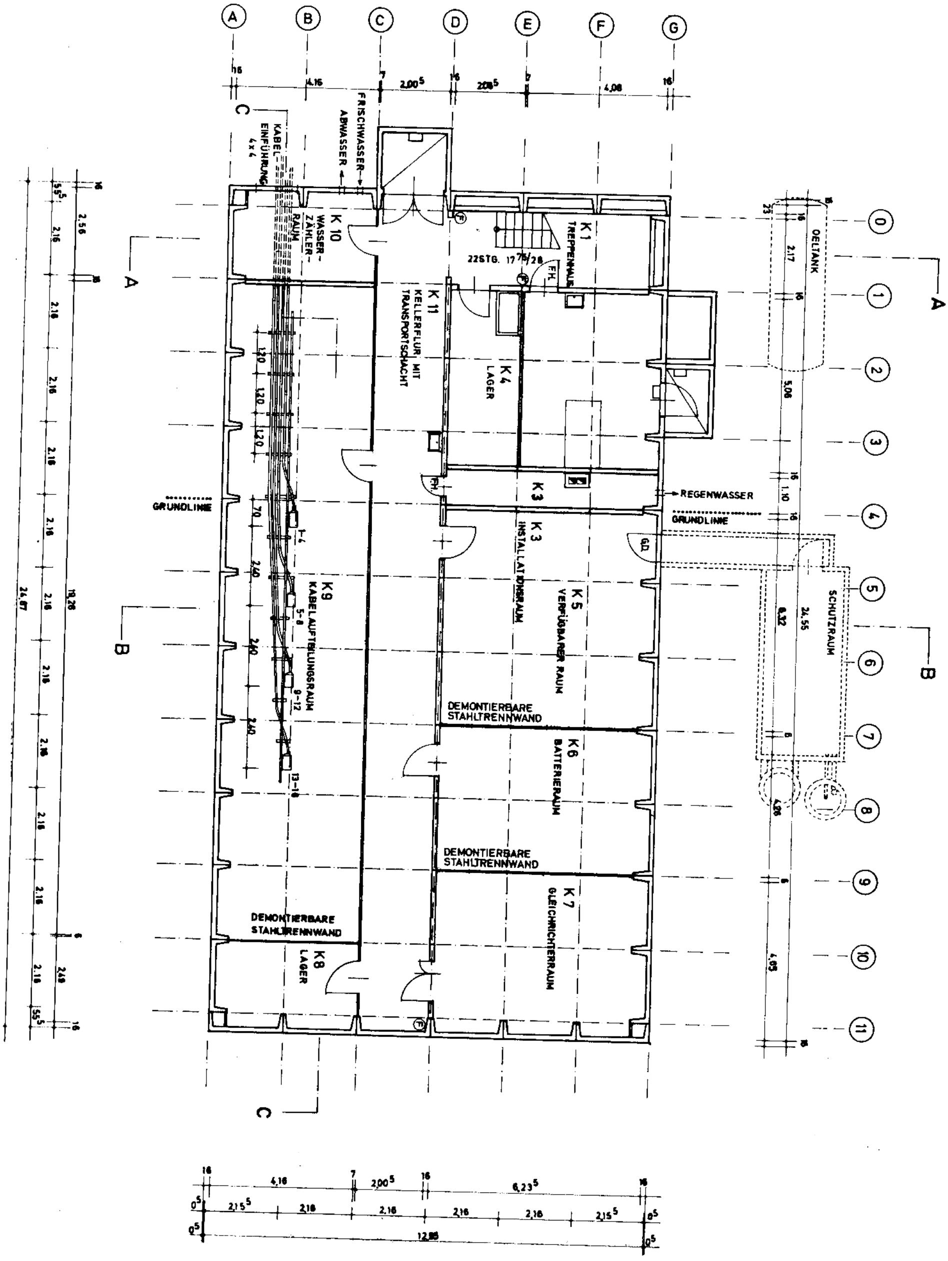

K 1 TREPPENHAUS
22STG. 17 75/28
K 3
K 3 INSTALLATIONSRAUM
K 4 LAGER
K 5 VERFÜGBARER RAUM
K 6 BATTERIERAUM
K 7 GLEICHRICHTERRAUM
K 8 LAGER
K 9 KABELAUFTEILUNGSRAUM
K 10 WASSER-ZÄHLER-RAUM
K 11 KELLERFLUR MIT TRANSPORTSCHACHT
KABEL-EINFÜHRUNG 4 x 4
FRISCHWASSER
ABWASSER
DEMONTIERBARE STAHLTRENNWAND
GRUNDLINIE
REGENWASSER
OELTANK
SCHUTZRAUM
F.H.
A
B
C
D
E
F
G
0
1
2
3
4
5
6
7
8
9
10
11

Bild 16. Fe N3 Kellergeschoß
(Entwurf: Architekt Prof. Dr.-Ing. W. Henn, TH Braunschweig)

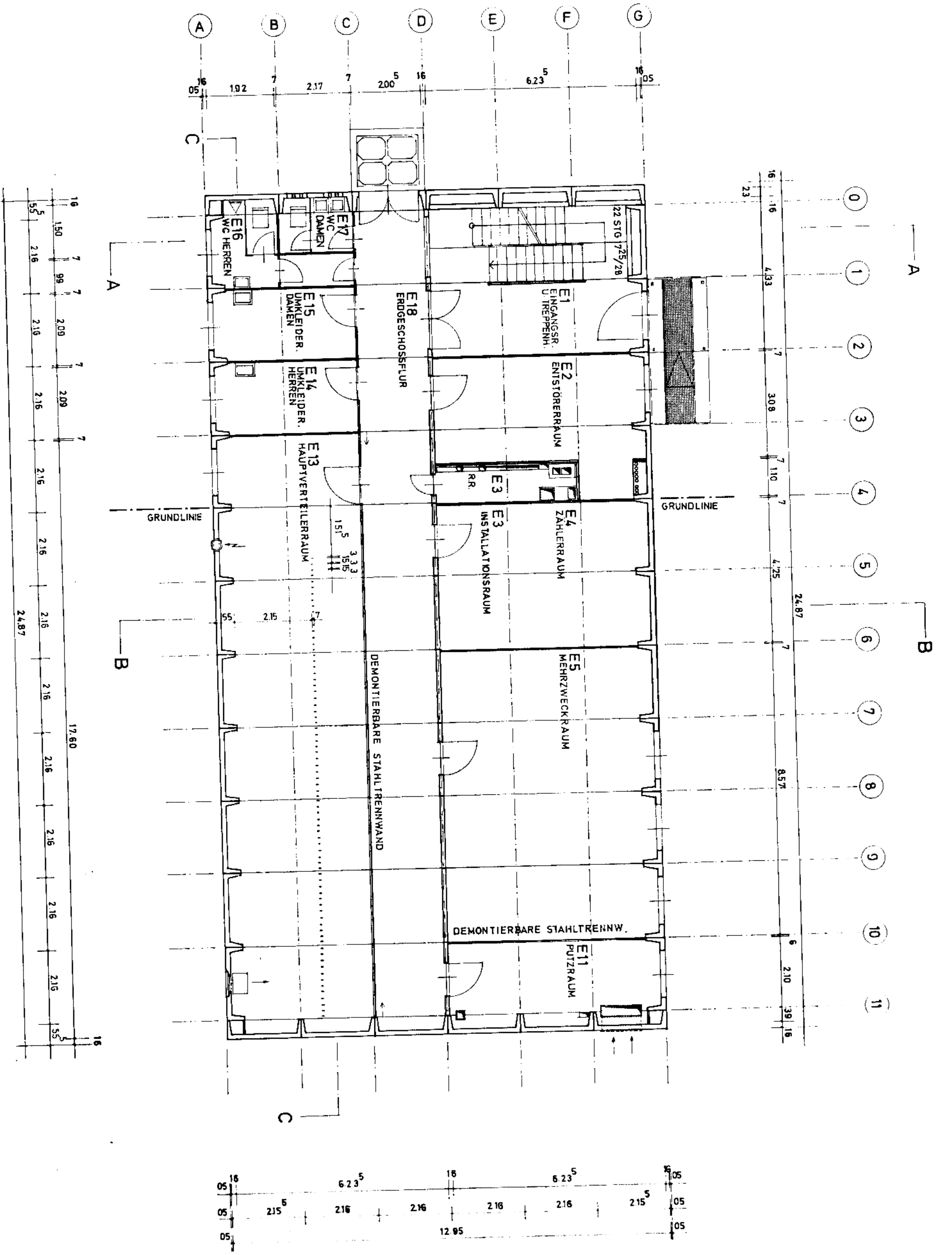

A
B
C
D
E
F
G
0
1
2
3
4
5
6
7
8
9
10
11
E16 WC HERREN
E17 WC DAMEN
E15 UMKLEIDER. DAMEN
E14 UMKLEIDER. HERREN
E13 HAUPTVERTEILERRAUM
E18 ERDGESCHOSSFLUR
E1 EINGANGSR. U. TREPPENH.
22 STG 17,25/28
E2 ENTSTÖRERRAUM
E3 R.R.
E3 INSTALLATIONSRAUM
E4 ZÄHLERRAUM
E5 MEHRZWECKRAUM
E11 PUTZRAUM
DEMONTIERBARE STAHLTRENNWAND
DEMONTIERBARE STAHLTRENNW.
GRUNDLINIE
GRUNDLINIE
A
A
B
B
C
C
24.87
17.60
12.95
6.23⁵
2.16

Bild 17. Fe N3 Erdgeschoß

(Entwurf: Architekt Prof. Dr.-Ing. W. Henn, TH Braunschweig)

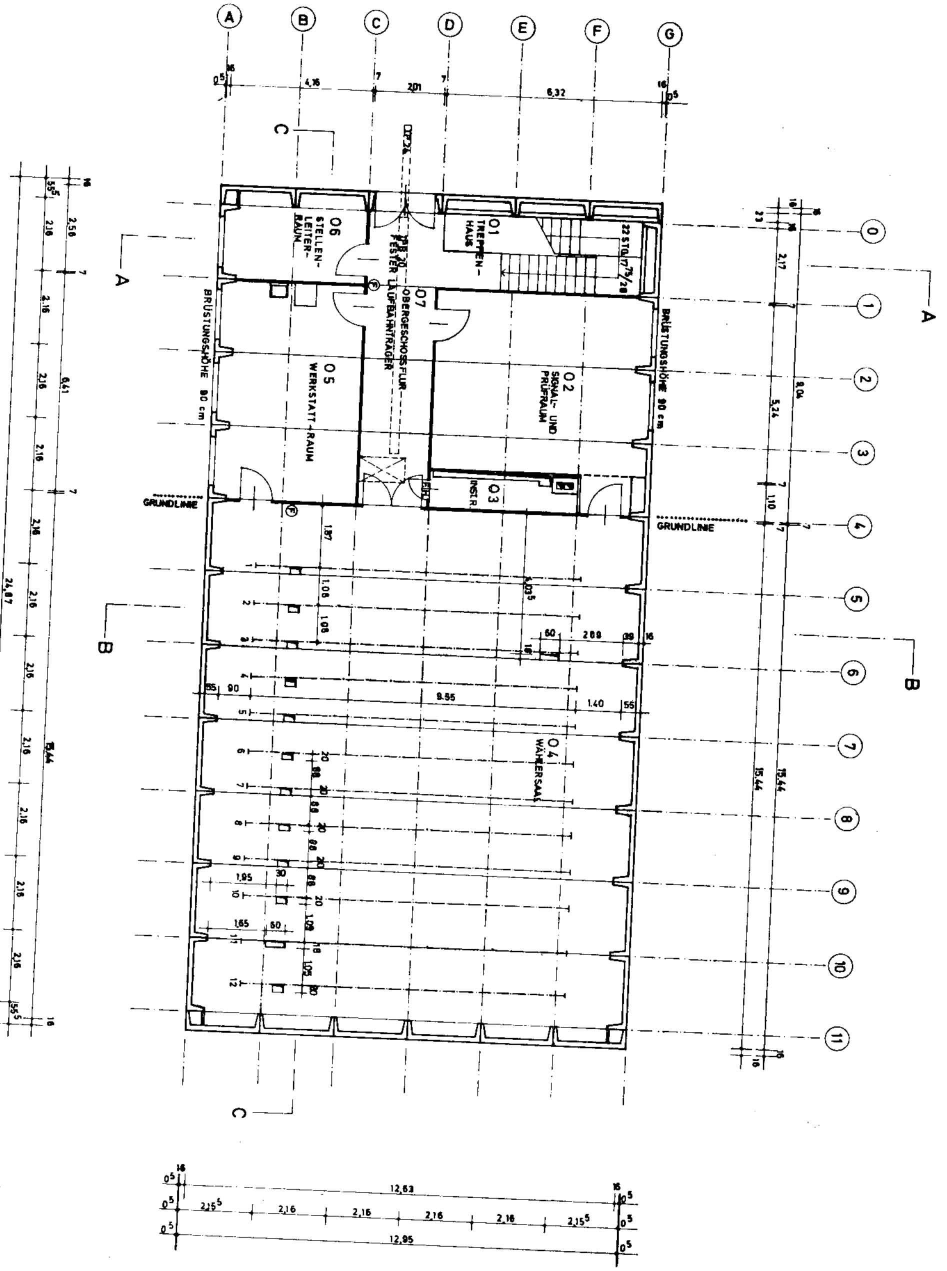

A
B
C
D
E
F
G
0
1
2
3
4
5
6
7
8
9
10
11
01 TREPPEN-HAUS
02 SIGNAL- UND PRÜFRAUM
03 INSTR.
04 WARTESAAL
05 WERKSTATT-RAUM
06 STELLEN-LEITER-RAUM
07 OBERGESCHOSSFLUR
IPB 20 FESTER LAUFBAHNTRÄGER
22 STG. 17,75/28
BRÜSTUNGSHÖHE 90 cm
BRÜSTUNGSHÖHE 80 cm
GRUNDLINIE
4,16
2,01
6,32
12,63
12,95
2,15⁵
2,16
24,87
15,44
8,41
9,04
5,26
9,55
1,40
2,88

Bild 18. Fe N3 Obergeschoß (Entwurf: Architekt Prof. Dr.-Ing. W. Henn, TH Braunschweig)

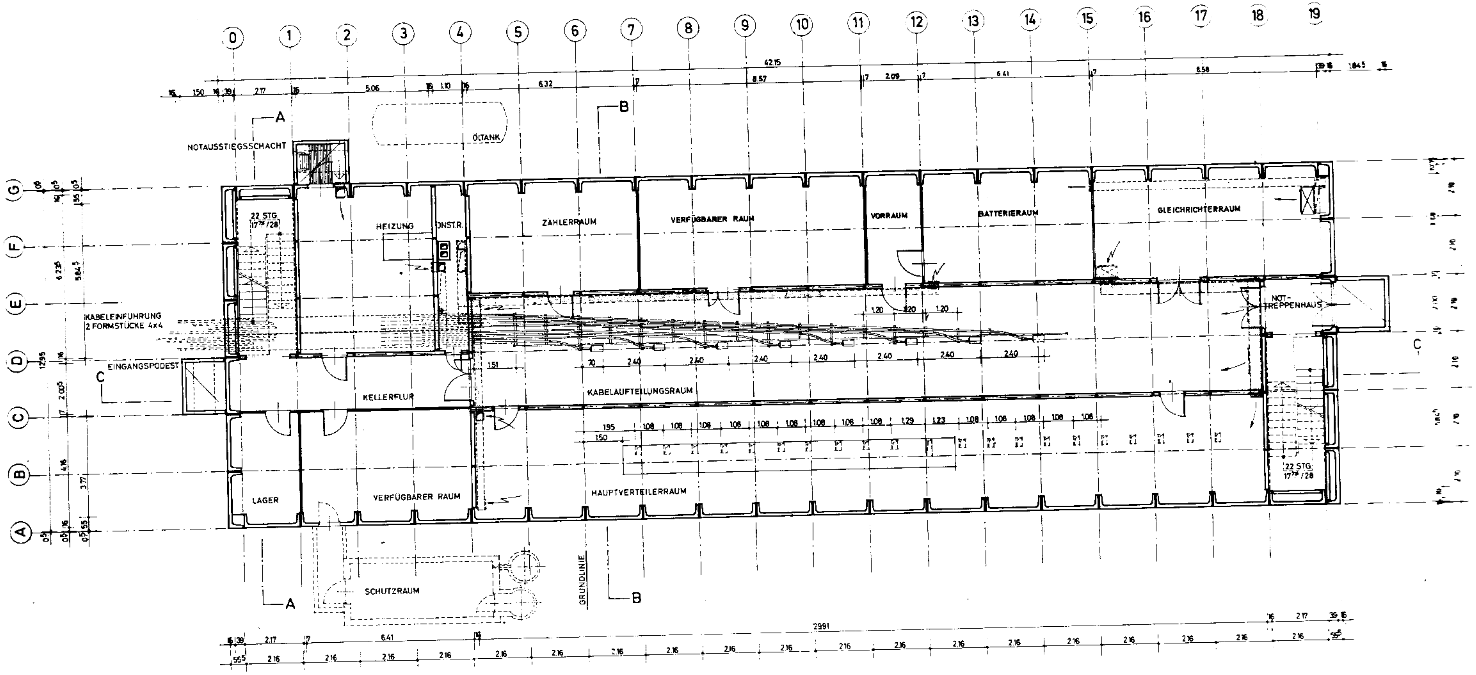

NOTAUSSTIEGSSCHACHT
ÖLTANK
22 STG. 17⁷⁸/28
HEIZUNG
INSTR.
ZÄHLERRAUM
VERFÜGBARER RAUM
VORRAUM
BATTERIERAUM
GLEICHRICHTERRAUM
NOT-TREPPENHAUS
KABELEINFÜHRUNG 2 FORMSTÜCKE 4x4
EINGANGSPODEST
KELLERFLUR
KABELAUFTEILUNGSRAUM
LAGER
VERFÜGBARER RAUM
HAUPTVERTEILERRAUM
SCHUTZRAUM
GRUNDLINIE
22 STG. 17⁷⁸/28
A
B
C
D
E
F
G
0
1
2
3
4
5
6
7
8
9
10
11
12
13
14
15
16
17
18
19
42.15
29.91

Bild 19. Fe N4 Kellergeschoß

(Entwurf: Architekt Prof. Dr.-Ing. W. Henn, TH Braunschweig)

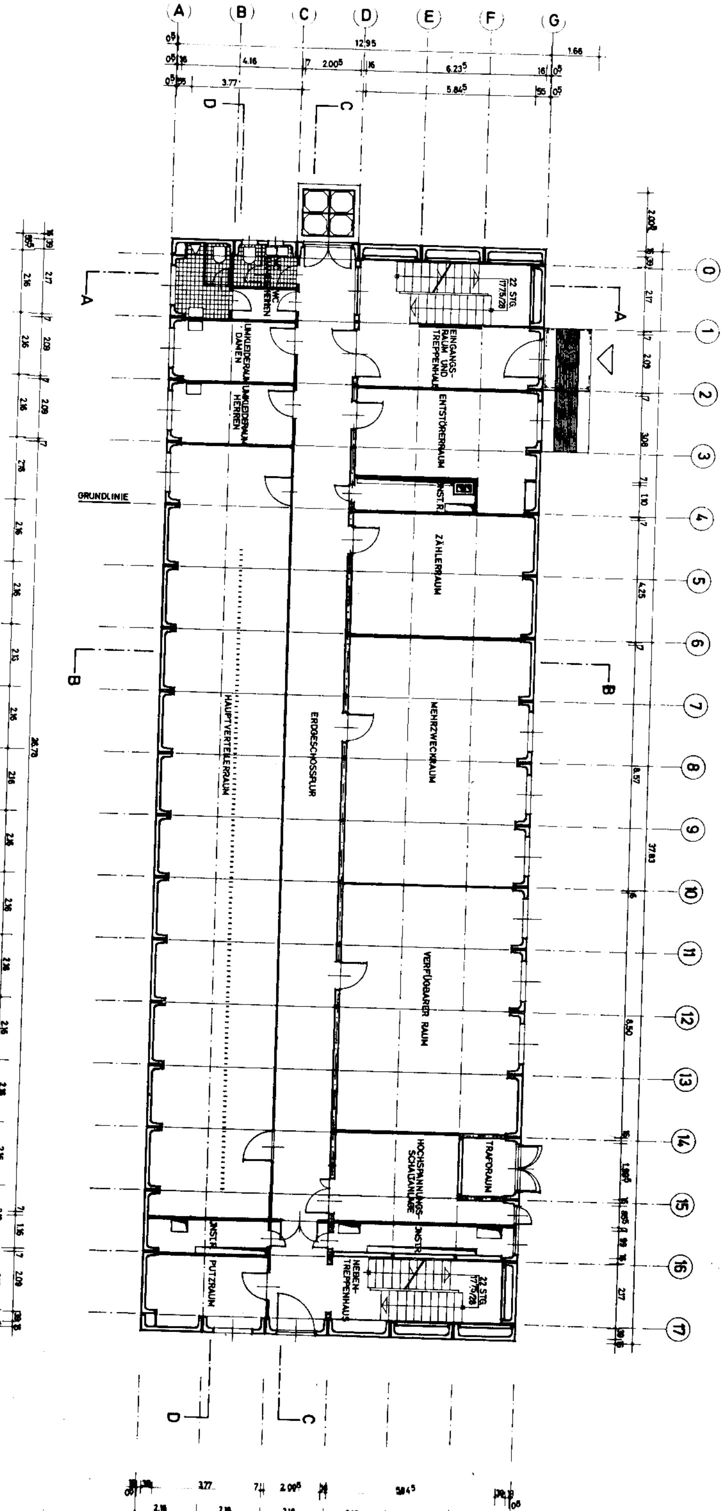

A
B
C
D
E
F
G
0
1
2
3
4
5
6
7
8
9
10
11
12
13
14
15
16
17
12.95
4.16
2.00⁵
6.23⁵
3.77
5.84⁵
1.66
26.78
37.83
WC HERREN
UMKLEIDERAUM DAMEN
UMKLEIDERAUM HERREN
GRUNDLINIE
HAUPTVERTEILERRAUM
ERDGESCHOSSFLUR
EINGANGSRAUM UND TREPPENHAUS
22 STG. 17.75/28
ENTSTÖRERRAUM
INSTR.R.
ZÄHLERRAUM
MEHRZWECKRAUM
VERFÜGBARER RAUM
HOCHSPANNUNGSSCHALTANLAGE
TRAFORAUM
INSTR.
PUTZRAUM
NEBENTREPPENHAUS
22 STG. 17.75/28

Bild 20. Fe N4 Erdgeschoß
(Entwurf: Architekt Prof. Dr.-Ing. W. Henn, TH Braunschweig)

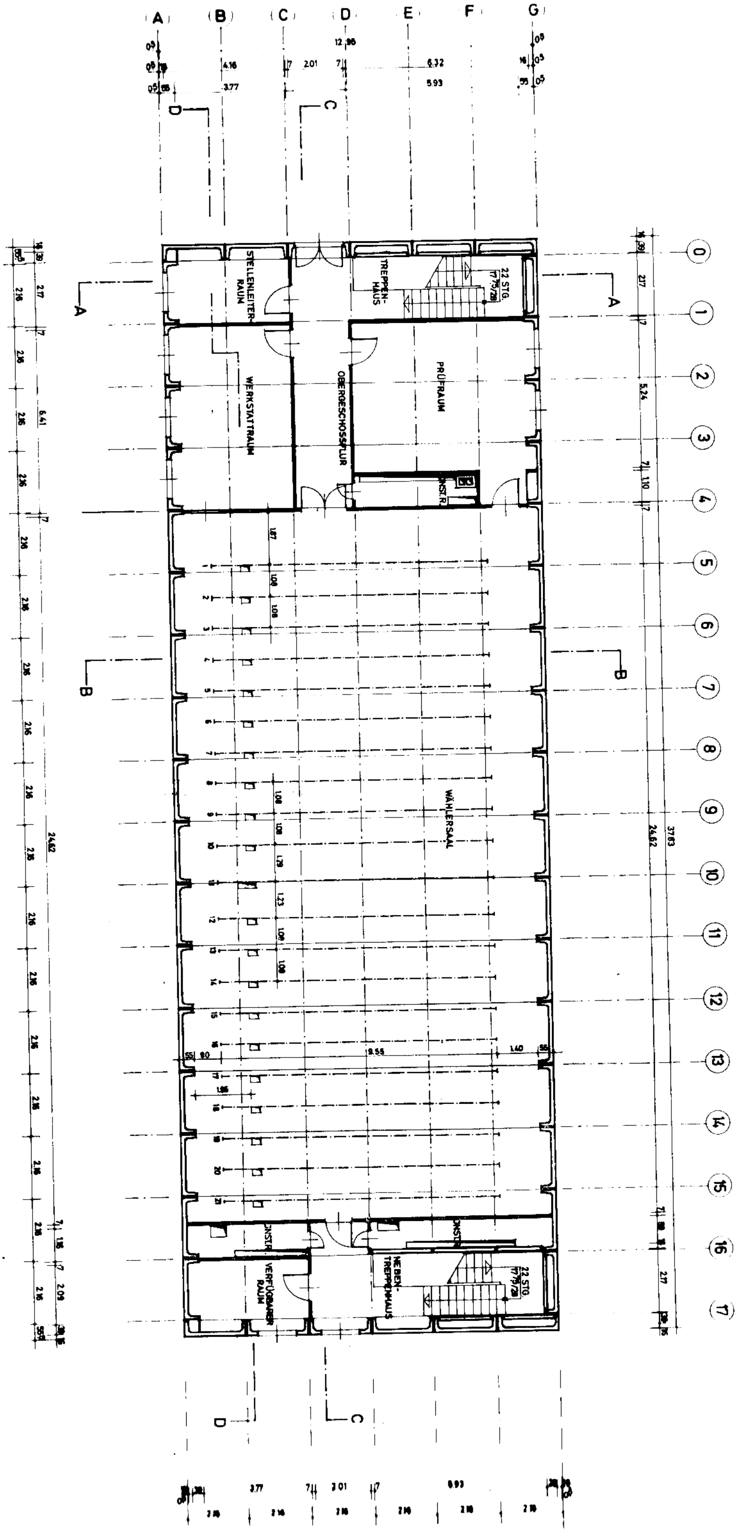

A
B
C
D
E
F
G
0
1
2
3
4
5
6
7
8
9
10
11
12
13
14
15
16
17
STELLENLEITER-RAUM
WERKSTATTRAUM
OBERGESCHOSSFLUR
TREPPEN-HAUS
22 STG. 17,75/28
PRÜFRAUM
INSTR.R.
WÄHLERSAAL
INSTR.
VERFÜGBARER RAUM
NEBEN-TREPPENHAUS
37,83
24,62
6,41
5,24

Bild 21. Fe N4 Obergeschoß
(Entwurf: Architekt Prof. Dr.-Ing. W. Henn, TH Braunschweig)

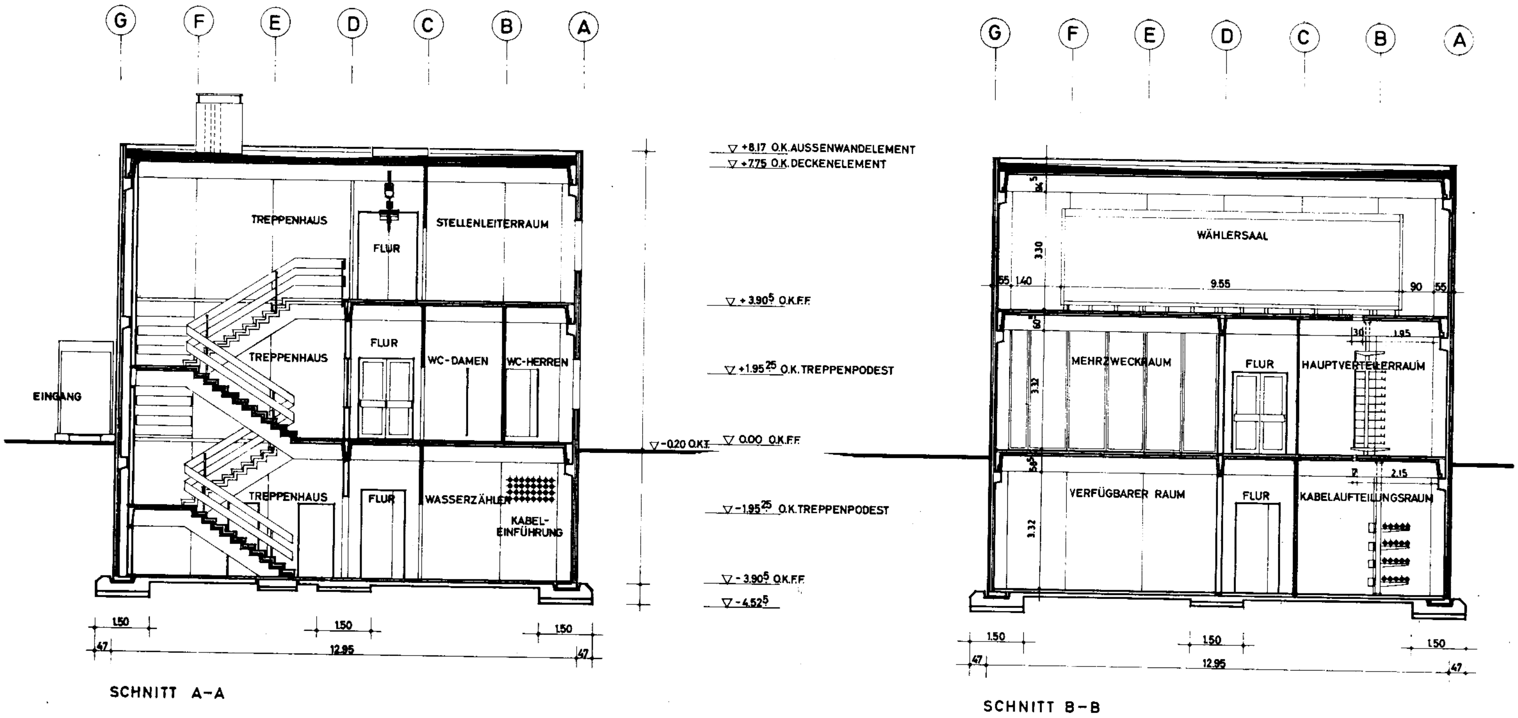

G
F
E
D
C
B
A
TREPPENHAUS
FLUR
STELLENLEITERRAUM
TREPPENHAUS
FLUR
WC-DAMEN
WC-HERREN
EINGANG
TREPPENHAUS
FLUR
WASSERZÄHLER
KABEL-EINFÜHRUNG
∇ +8.17 O.K. AUSSENWANDELEMENT
∇ +7.75 O.K. DECKENELEMENT
∇ + 3.90⁵ O.K.F.F.
∇ +1.95²⁵ O.K. TREPPENPODEST
∇ -0.20 O.K.T.
∇ 0.00 O.K.F.F.
∇ -1.95²⁵ O.K. TREPPENPODEST
∇ - 3.90⁵ O.K.F.F.
∇ - 4.52⁵
1.50
1.50
1.50
47
12.95
47
SCHNITT A–A
WÄHLERSAAL
94.5
3.30
55
1.40
9.55
90
55
60
MEHRZWECKRAUM
FLUR
HAUPTVERTEILERRAUM
30
1.95
3.32
58⁵
VERFÜGBARER RAUM
FLUR
KABELAUFTEILUNGSRAUM
2.15
3.32
1.50
1.50
1.50
47
12.95
47
SCHNITT B–B

Bild 22. Fe N4 Querschnitte, Schnitt A-A und Schnitt B-B
(Entwurf: Architekt Prof. Dr.-Ing. W. Henn, TH Braunschweig)

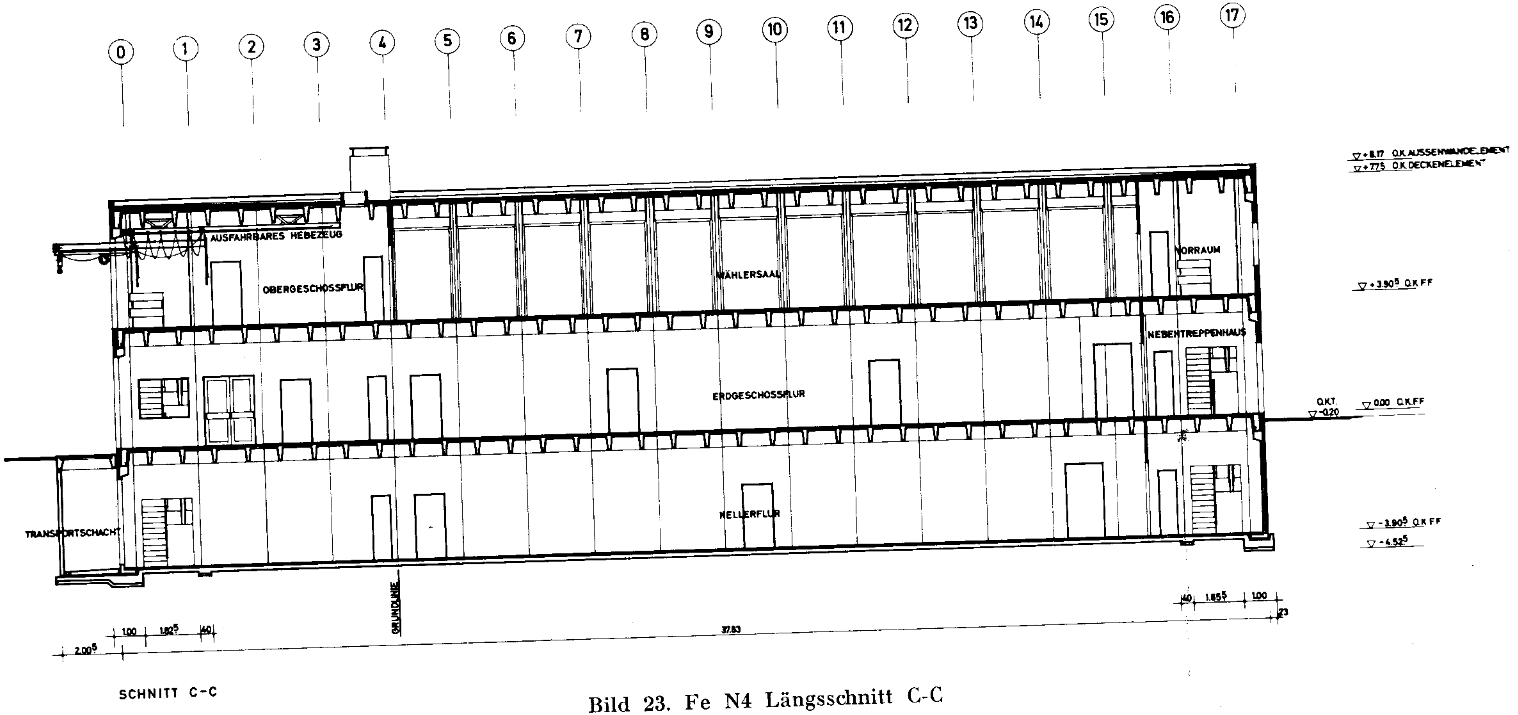

0
1
2
3
4
5
6
7
8
9
10
11
12
13
14
15
16
17
▽+8.17 O.K. AUSSENWANDELEMENT
▽+7.75 O.K. DECKENELEMENT
AUSFAHRBARES HEBEZEUG
OBERGESCHOSSFLUR
WÄHLERSAAL
VORRAUM
▽+3.90⁵ O.K.FF
NEBENTREPPENHAUS
ERDGESCHOSSFLUR
O.K.T.
▽-0.20
▽0.00 O.K.FF
TRANSPORTSCHACHT
KELLERFLUR
▽-3.90⁵ O.K.FF
▽-4.52⁵
GRUNDLINIE
2.00⁵
1.00
1.82⁵
40
37.83
40
1.85⁵
1.00
23
SCHNITT C-C

Bild 23. Fe N4 Längsschnitt C-C

(Entwurf: Architekt Prof. Dr.-Ing. W. Henn, TH Braunschweig)

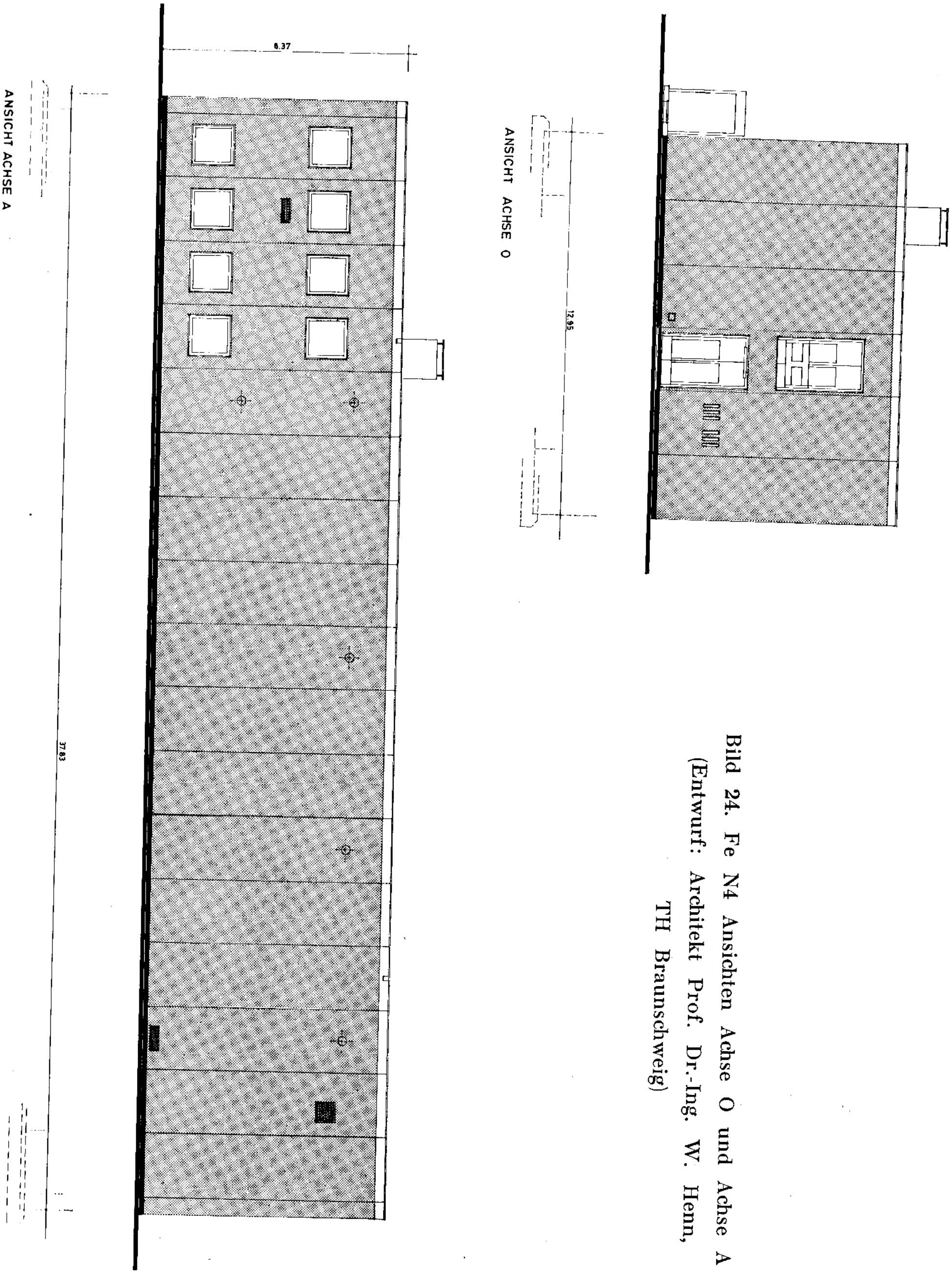

ANSICHT ACHSE A
6.37
37.83
ANSICHT ACHSE O
12.95

Bild 24. Fe N4 Ansichten Achse O und Achse A (Entwurf: Architekt Prof. Dr.-Ing. W. Henn, TH Braunschweig)

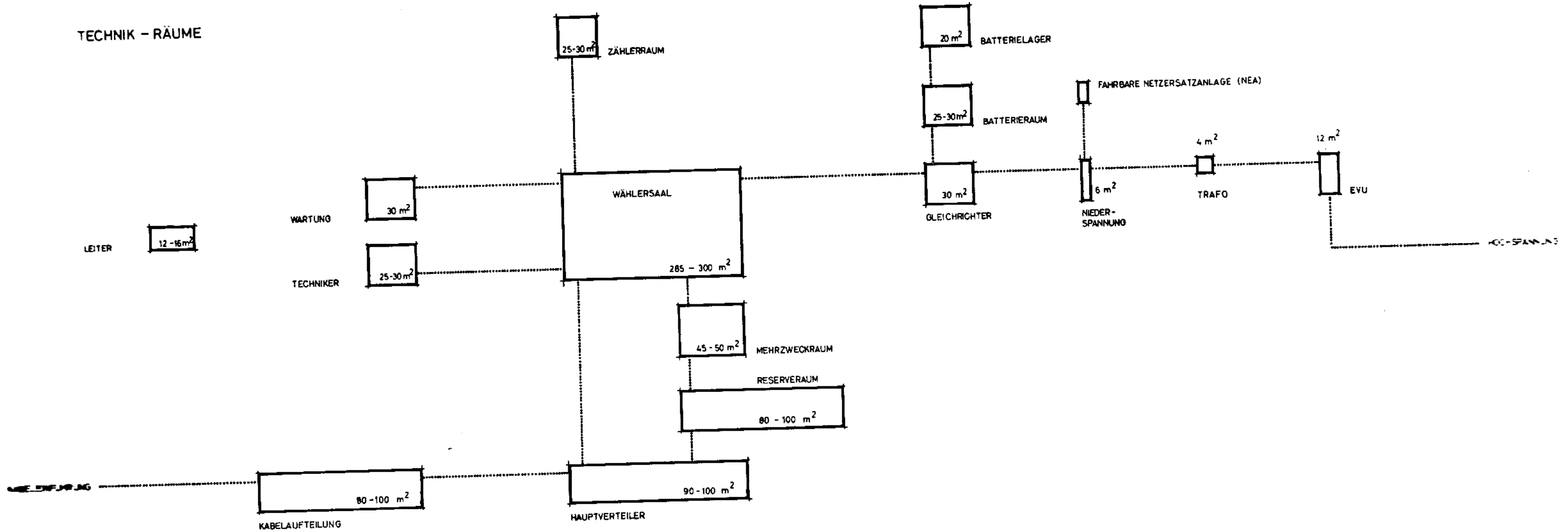

TECHNIK – RÄUME
25-30 m²
ZÄHLERRAUM
20 m²
BATTERIELAGER
25-30 m²
BATTERIERAUM
FAHRBARE NETZERSATZANLAGE (NEA)
4 m²
12 m²
WÄHLERSAAL
285 – 300 m²
30 m²
GLEICHRICHTER
6 m²
NIEDER-
SPANNUNG
TRAFO
EVU
HOCH-SPANNUNG
30 m²
WARTUNG
LEITER
12 - 16 m²
25-30 m²
TECHNIKER
45 - 50 m²
MEHRZWECKRAUM
RESERVERAUM
80 - 100 m²
KABELEINFÜHRUNG
80 - 100 m²
KABELAUFTEILUNG
90 - 100 m²
HAUPTVERTEILER

Bild 25. Fe N4 Raumprogramm

(Entwurf: Architekt Prof. Dr.-Ing. W. Henn, TH Braunschweig)

Die Raumeinteilung der vier Normengebäude zeigt, daß der flächenmäßige Anteil der Betriebsräume und der Verkehrsflächen gegenüber dem der Technik bei der Gebäudegruppe Fe N2e, Fe N4e weitaus geringer ist als der bei der Gebäudegruppe Fe N3, Fe N4. Die Praxis wird erst beweisen, welcher der beiden Gebäudegruppen der Vorzug gegeben wird, d. h., ob sich die neue parallele Zuordnung von Kabelaufteilung und Hauptverteiler im Kellergeschoß oder die herkömmliche senkrechte Anordnung von Kabelaufteilung im Kellergeschoß und Hauptverteiler im Erdgeschoß bewährt.

V. Zusammenfassung

Seit Jahren bemüht sich die Deutsche Bundespost in besonderem Maße, neue Ortsvermittlungsstellen und damit die Voraussetzungen für weitere Fernsprechanschlüsse zu schaffen, um den berechtigten Fernsprech-Anschlußwünschen nachzukommen. Vor gleichen Aufgaben stehen auch die Post- und Fernmeldeverwaltungen anderer Länder. Deshalb widmet sich auch innerhalb der CEPT (Conférence européenne des Administrations des postes et des télécommunications) eine Arbeitsgruppe der Lösung dieser Aufgabe. Hier werden Gedanken und Erfahrungen über die Planung und den Bau von Typen- oder Normengebäuden für Vermittlungsstellen ausgetauscht.

Die Zahl derer, die zur Zeit im Bundesgebiet auf einen Fernsprechanschluß warten, beträgt etwa 300 000. Die Aufgabe, viele betriebsfertige Vermittlungsstellen in den kommenden Jahren zu bauen, ist vielschichtig. Vorab steht die Möglichkeit der Finanzierung eines solchen Bauprogramms. Abgestimmt hierauf gehören die fernmeldebetriebliche Planungskapazität der DBP, die Liefer- und Montagekapazität der Fernmeldeindustrie, der gesicherte Erwerb von Grundstücken und die Hochbaukapazität der DBP. Mit dem zuletzt genannten Problem befaßt sich dieser Beitrag. Er soll Möglichkeiten zeigen, wie diese Aufgabe aus der Sicht des Hochbaudienstes der Deutschen Bundespost gelöst werden kann. Die Planung der Normengebäude ging davon aus, daß ihre Ausführung nur wirtschaftlich sein kann, wenn mehrere Gebäude im gleichen Zeitraum und in einem bestimmten Umkreis von einem Generalunternehmer errichtet werden. Dazu müssen die vorstehend genannten Faktoren sehr gut und verbindlich aufeinander abgestimmt sein.

Die neue Planung dieser Ortsvermittlungsstellen ging betont von rationellen Überlegungen aus. Die Aufgabe, Gebäude zu planen, die fernmeldetechnische Einrichtungen unter gleichen bautechnischen und haustechnischen Voraussetzungen aufzunehmen haben, führte in zweifacher Hinsicht zu Normengebäuden. Einmal gilt der erarbeitete Entwurf des einzelnen Gebäudes mit festgelegtem Grund- und Aufriß als vorgeschriebenes Muster und ist Grundlage einer Reihe gleicher Bauten. Zum anderen sind sämtliche Einzelteile genormt.

Daraus darf nicht geschlossen werden, daß die Normung ein Ordnungsprinzip schlechthin sei. Die Normung sollte nur bei der Planung von solchen Bauten zugrunde gelegt werden, die einen absolut gleichen technischen Zweck zu erfüllen haben.

Seit altersher lehrt das lebendige Baugeschehen, daß sich die Ordnung im Großen im Typ ausdrückt. Demgemäß sollten heute Bauten mit genormten Einzelteilen in freier Anwendung errichtet werden, die sich als Bautypen unserer Zeit dartun.

Die Normengebäude zur Aufnahme der technischen Einrichtung für Ortsvermittlungsstellen sollen sich durch vorbildliche, zeitgemäße Gestaltung und gute Ausführung auszeichnen.

VI. Schrifttum

1. Fischer, B.: Typengebäude für Ortsvermittlungsstellen. Jahrbuch des elektrischen Fernmeldewesens ,1962.
2. Gruber, K.: Gestalt der deutschen Stadt. Verlag Georg D. W. Callwey, München, 1952, S. 194.
3. Henn, W.: Über das alte und neue Bauen. Akademie der Wissenschaften und der Literatur, Abhandlungen der mathematisch-naturwissenschaftlichen Klasse, Jahrgang 1965, Nr. 7, S. 326.

Herbert Gruber

Aufbau und Technik des Fernsprechnetzes der Deutschen Bundesbahn (BASA-Netz)*)

I. Einführung

II. Netzaufbau
  1. Netzplan
  2. Kennzahlplan
  3. Dämpfungsplan

III. Übertragungswege
  1. Kabel
  2. NF-Verstärker
  3. Trägerfrequenzeinrichtungen
    A. Mehrfach-Einkanalsysteme
    B. Mehrfach-Gruppensysteme
    C. V 120-System
    D. V 300-System
  4. Richtfunk

IV. Bahnselbstanschlußanlagen (Basa)
  1. Allgemeine Leistungsmerkmale
    A. Basa-Bauarten
    B. Basa-Baustufen
    C. Wähler
    D. Schaltkennzeichen
    E. Hörtöne
    F. Teilnehmeranschlüsse
    G. Sonderfernsprecher
  2. Kleine, mittlere und große Basa
    A. Kleinbasa
    B. Mittlere Basa
    C. Große Basa
  3. Fernwahl-Übertragungen
    A. Allgemeine Leistungsmerkmale
    B. Wahlverfahren
  4. Wählbezirksleitungen
    A. OB-Bezirksleitung mit Wahlzusatz
    B. Basa-Bezirksleitung
  5. Halbselbsttätige Vermittlung
    A. Allgemeine Leistungsmerkmale
    B. Die Anschlüsse der Vermittlung
    C. Die Entstörungsstelle
  6. Prüf- und Meßeinrichtungen
    A. Fernwahlprüfeinrichtung (FPE)
    B. Kabel-Überwachungsgerät
  7. Stromversorgung
    A. Gleichrichter

---

*) Wegen der zahlreichen, im postalischen Fernmeldewesen weniger geläufigen Abkürzungen wird auf das am Ende dieses Beitrages zusammengestellte Abkürzungsverzeichnis verwiesen.

    B. Netzersatzeinrichtungen
    C. Batterien
  8. Räumliche Unterbringung
  9. Fahrbare Basa
    A. Bezirksnetz-Knotenbasa
    B. Großnetzbasa
V. Zusammenfassung
VI. Abkürzungen
VII. Schrifttum

I. Einführung

Das Gesamtstreckennetz der Deutschen Bundesbahn (DB) umfaßt etwa 30 000 km Streckenlänge mit rund 7150 Bahnhöfen und Haltepunkten. Dieses Netz ist in 16 genau abgegrenzte Bezirke eingeteilt, deren Betriebsführung den Bundesbahndirektionen (BD'en) obliegt. Für die umfangreichen Aufgaben der Betriebsführung steht der DB ein eigenes vollautomatisches Dienst-Fernsprechnetz zur Verfügung, das in der Netzgestaltung und Gliederung die geographische Anordnung der Schienenwege und die interne Organisation der DB widerspiegelt.

Mit dem Aufbau des Fernsprechnetzes der DB wurde anfangs dieses Jahrhunderts begonnen. Zuerst entstanden die Netze in den Direktionsbezirken, die später, als leistungsfähige Übertragungsmittel zur Verfügung standen, nach und nach zusammengeschaltet wurden. Die anfänglichen Handvermittlungen wurden durch selbsttätige Vermittlungseinrichtungen ersetzt. Bereits in den zwanziger Jahren wurde der vollautomatische Verbindungsverkehr, zuerst innerhalb der Direktionsbezirke, dann zwischen ihnen aufgenommen.

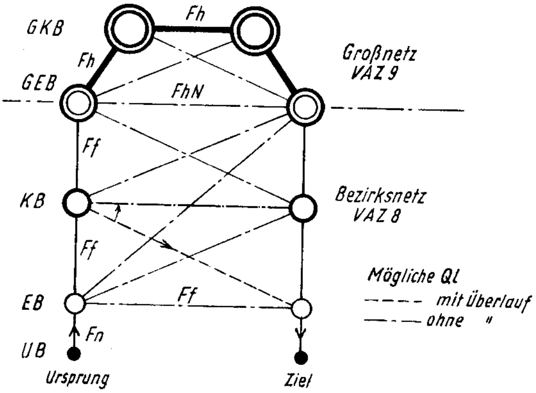
Bis 1950 konnte die vollständige Automatisierung des Gesamtnetzes abgeschlossen werden. In den folgenden Jahren wurde die Modernisierung des Netzes und der Vermittlungsstellen nach dem inzwischen erreichten Stand der Technik in Angriff genommen. Sie ist in den letzten Jahren durch den Einsatz neuer Schaltglieder, wie Edelmetall-Motordrehwähler, Koordinatenschalter und ESK-Koppler in der Vermittlungstechnik, sowie volltransistorisierter Trägerfrequenzeinrichtungen (VZ 12, V 120, V 300), UKW- und Zentimeterwellen-Richtfunkanlagen und durch die Verlegung von Kleinkoaxialkabeln in der Übertragungstechnik gekennzeichnet.

Die Bahnselbstanschlußanlagen (Basa) müssen neben dem Bahnfernsprechverkehr, der sich über das ganze Dienstfernsprechnetz erstreckt, auch den Sprechverkehr mit Teilnehmern des öffentlichen Fernsprechnetzes ermöglichen. In den Basa sind deshalb die Bedingungen der Nebenstellentechnik mit den Forderungen eines neuzeitlichen Weitverkehrssystems vereinigt.

II. Netzaufbau

1. Netzplan

Innerhalb des Gesamtnetzes (Bild 1 und 2) sind 2 Netzebenen, und zwar die Bezirksnetzebene und die Großnetzebene, zu unterscheiden. Die Bezirksnetzebene ist in einzelne Bezirksnetze aufgeteilt. Ein Bezirksnetz umfaßt alle Bahnhöfe und sonstigen Bundesbahnstellen im Dienstbereich einer Bundesbahndirektion (BD). Das Gesamtnetz ist also in ebenso viele Bezirksnetze (BD-Netze) aufgeteilt wie Bundesbahndirektionen vorhanden sind (Bild 2 s. nach S. 344).



Erklärung d. Abkürzungen:

UB = Unterbasa
EB = Endbasa
KB = Knotenbasa
GEB = Großnetzendbasa
GKB = Großnetzknotenbasa
VAZ = Verkehrsausscheidungsziffer
Fn = Fernsprechnahverbindung
Ff = Fernsprechfernverbindung
Fh = Fernsprechhauptverbindung
FhN = Fernsprechhauptverbindung für Nachbarverkehr

Bild 1. Grundsätzlicher Aufbau des Basanetzes

Den Bezirksnetzen übergeordnet ist das Großnetz. Es hat keinen eigentlichen Netzmittelpunkt, sondern drei einander gleichgeordnete sogenannte Großnetzknoten, die untereinander vermascht sind (Bild 3). Um die Großnetzknotenbasa (GKB) gruppieren sich die Großnetzendbasa (GEB), die Netzgruppenmittelpunkte der Bezirksnetze, die die Übergangsstelle für den Verkehr zwischen dem Großnetz und dem jeweiligen Bezirksnetz bilden. Über die GEB wird den GKB der überbezirkliche, aus den Bezirksnetzen stammende Fernverkehr zugeführt. In den GEB endet sowohl der aus dem Bezirksnetz aufsteigende als auch der aus dem Großnetz absteigende Fernverkehr auf einem Ferngruppenwähler, dem I. FGW. In dieser Wahlstufe wird durch Wahl einer bestimmten Verkehrsausscheidungsziffer (VAZ) entschieden, ob eine Fernverbindung in der Bezirksnetzebene (VAZ 8) oder im Großnetz (VAZ 9) weitergeführt wird.

Die BD-Netze haben einen überwiegend sternförmigen Grundaufbau. An den Endpunkten des Sternes befinden sich die Endbasa (EB) und die Unterbasa (UB). Ihnen übergeordnet sind die Knotenbasa (KB), die den Verkehr der zum Knotenbereich gehörenden Endbasa vermitteln und den weiterführenden Fernverkehr zur GEB am Sitz der Bundesbahndirektion leiten. Die EB und KB des Bezirksnetzes bilden zusammen mit der GEB die Bezirksnetzgruppe. Das Gesamtnetz ist in größerem Umfange durch Querleitungen (Ql) vermascht. Da die KB mit Mitteln der Leitwegsteuerung ausgerüstet sind, werden von diesen Basa aus die Ql in der Regel mit Überlauf betrieben.

Das Gesamtnetz wird ferner durch eine besondere Art von Leitungen, die sogenannten Bezirksleitungen (Gesellschaftsleitungen), ergänzt. Das sind entlang von Bahnstrecken verlaufende Zweidrahtleitungen, an die die einzelnen Fernsprecher im Bahnhofsabstand parallel angeschlossen sind. Die Bezirksleitungen können an eine oder auch an mehrere Basa angeschlossen sein. Der Fernsprechverkehr dieser Stellen bleibt im wesentlichen innerhalb ihrer Bezirksnetzgruppen. Jedoch ist technisch ein Verkehr mit allen Teilnehmern des gesamten Fernsprechnetzes möglich.

2. Kennzahlplan

Für den Bahnfernverkehr wird im Netz der BD ein netzgebundenes, offenes, den beiden Netzebenen entsprechendes zweistufiges Kennzahlsystem verwendet. Die erste Stufe mit der Verkehrsausscheidungsziffer 8 umfaßt den Verkehr innerhalb einer Bezirksnetzebene, die zweite Stufe mit der Verkehrsausscheidungsziffer 9 den Verkehr in der Großnetzebene.

Darüber hinaus wird mit der Ziffer 6 der Verkehr zu Ortsbatterie (OB)- Fern- und Bezirksleitungen, mit der Ziffer 7 der Verkehr zu Unterbasa und zu allen nicht in den beiden Stufen des Kennzahlplanes (Ziffer 8 und 9) erreichbaren Querleitungen ausgeschieden.

Alle Zahlen des Kennzahlplanes sind einheitlich dreistellig (Bild 2 und 3).

Es stehen somit für die Bezirksnetze die Kennzahlen 800 bis 899 und für das Großnetz die Kennzahlen 900 bis 999 zur Verfügung. Da das Gesamtnetz in 16 Bezirksnetzgruppen aufgeteilt ist und jede Netzgruppe je nach Zahl der Knotenbasa etwa 5 bis 8 Knotenziffern benötigt, müssen zahlreiche Bezirksnetz-Kennzahlen im Gesamtnetz mehrmals verwendet werden. Der Kennzahlplan ist dabei für benachbarte Bezirke so abgestimmt, daß auch Querverbindungen von Knotenbasa zu Basa benachbarter BD-Bezirke weitestgehend kennzahlrichtig angeschlossen werden können. Mittel zur Leitweglenkung, wie Umsteuerwähler (UW) und Richtungswähler (RW), sind nur in den Knotenbasa der Bezirksnetzgruppen vorhanden. Jede, die Bezirksnetzbasa durch Wahl der Kennziffer 8 verlassende Fernverbindung wird zunächst in Richtung zum Netzgruppenmittelpunkt geschaltet. Die UW oder RW in den Knotenbasa stellen nach Wahl der zweiten oder dritten Ziffer der Kennzahl fest, ob direkte Verbindungswege (Querwege) vorhanden sind oder ob die Verbindung auf dem Kennzahlwege weitergeführt werden muß. Blindbelegungen bis zum Netzgruppenmittelpunkt treten jedoch nur bei den über UW geführten Verbindungen auf, da der RW die Infor-

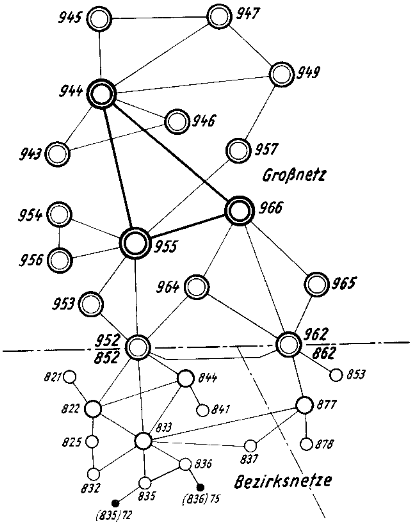


Bild 3. Aufbau und Kennzahlen des Basanetzes

Zeichenerklärung
966 866 Großnetz-Knotenbasa
952 852 Großnetz-Endbasa
Bezirksnetz-Knotenbasa
Bezirksnetz-Endbasa
Unterbasa
75
Querleitung mit und ohne Sonderkennzahl
71
Unterbasaverbindung (Fn)
BD-Bezirksgrenze
947 847 Hamburg-Altona
Lübeck
Neumünster
Bremen
Oldenburg
Osnabrück
Münster (Westf)
945 845
958 858 Minden
949 849 Hannover
Braunschweig
Hildesheim
Hameln
Kreiensen
944 844 ESSEN
Oberhausen
Duisburg
Krefeld
Wanne-Eickel
Dortmund
Soest
Schwerte
Hagen
946 846 Wuppertal
957 857 Kassel
943 843 Köln
942 842 Bonn
Koblenz
Gerolstein
Limburg
Gießen
Fulda
955 855 FRANKFURT
954 854 Mainz
Darmstadt
933 Trier
Türkismühle
Dillingen
Neunkirchen
Kaiserslautern
Ludwigshafen
Heidelberg
Heilbronn
956 856 Saarbrücken
953 853 Karlsruhe
952 852 Stuttgart
Würzburg
Ansbach
966 866 NÜRNBERG
Hof
Lichtenfels
Bayreuth
Marktredwitz
Schwandorf
965 865 Regensburg
Plattling
Passau
Donauwörth
Ingolstadt
964 864 Augsburg
Landshut (Bay)
962 862 München
Mühldorf
Holzkirchen
Rosenheim
Freilassing
Buchloe
Weilheim
Kempten
Ulm
Rottweil
Villingen
Offenburg (AW)
Freiburg

Bild 2. Basanetz der Deutschen Bundesbahn (Fernsprech-Wegweiser) mationen zunächst speichert und erst nach der zweiten oder dritten Ziffer auf einen Querweg oder zum Netzgruppenmittelpunkt durchschaltet.

Die Großnetzbasa haben entsprechend ihrer Zugehörigkeit zum Großnetz und zum Bezirksnetz zwei dreistellige Kennzahlen, die Bezirksnetzkennzahl und die Großnetzkennzahl, die sich nur in der Verkehrsausscheidungsziffer (z. B. 845 und 945) voneinander unterscheiden. Darüber hinaus haben alle Knotenbasa Kennzahlen, deren letzte beiden Ziffern gleich sind (z. B. 844, 855 bzw. 944, 955).

Wie bereits erwähnt, ist die Schnittstelle für den überbezirklichen Fernverkehr der I. FGW in der Großnetzbasa. Überbezirkliche Verbindungen müssen deshalb durch Staffelwahl hergestellt werden. Die Teilnehmer einer Bezirksnetzbasa müssen z. B., wie aus Bild 4 ersichtlich, bei der Fernwahl im eigenen Bezirk drei Ziffern, bei der Wahl zur Großnetzbasa eines fremden Bezirkes sechs Ziffern und bei der Wahl zur Knoten- oder Endbasa eines anderen Bezirkes neun Ziffern und anschließend die Teilnehmer-Rufnummer wählen. Sind an eine Endbasa noch Unterbasa angeschlossen, für die die Verkehrsausscheidungsziffer 7 festgelegt ist, dann kommt zu den Regelkennzahlen noch eine zwei- oder dreistellige Unterbasakennzahl hinzu, so daß für eine Verbindung über den Kennzahlweg im ungünstigsten Falle 11 bis 12 Ziffern zu wählen sind. Die Verkehrsausscheidungsziffer 7 ist nur für den Endverkehr im untersten Netzbereich, also in offenen oder verdeckten Endbasa für den Anschluß von Unterbasa oder Querleitungen (Ql) vorgesehen. In den Großnetzbasa und Bezirksnetzknotenbasa werden die Ql nach Möglichkeit wie Netzgruppenverbindungen angeschlossen.

Wenn auch zum Aufbau eines Verbindungsweges unter Umständen 9 bis 12 Ziffern gewählt werden müssen, so ist doch in Wirklichkeit die mittlere Wählarbeit für den Aufbau eines Gespräches ganz erheblich geringer. Auf Grund von Beobachtungen und Schätzungen verbleiben vom gesamten Ursprungsfernverkehr etwa 70 v. H. der Gespräche im eigenen Bezirk (Wahl von 3 Ziffern), etwa 30 v. H. gehen in ferne Bezirke, davon 20 v. H. von Großnetzbasa zu Großnetzbasa (Wahl von 3 Ziffern). Nur je 5 v. H. aller Gespräche führen aus Knotenbereichen zu fernen Großnetzbasa (Wahl von 6 Ziffern) bzw. in Knotenbasabereiche ferner Bezirke (Wahl von 9 Ziffern). Bei dieser Betrachtung beträgt die durchschnittlich für ein Ferngespräch zu wählende Ziffernzahl etwa 3,45. Sie wird durch Benutzung von Querwegen noch weiter verringert. Die Grundforderung, den Fernverkehr mit dem geringsten Aufwand an Ziffern abzuwickeln, wird also mit dem zweistufigen Kennzahlsystem sehr gut erfüllt. Dabei ist der Nachteil, daß es keine für alle Verkehrsbeziehungen einheitliche Numerierung zuläßt, für ein Dienstnetz von geringerer Bedeutung. Der Vorteil dieses zweistufigen Kennzahlsystems liegt vor allem im geringen Aufwand an technischen Mitteln, da die Leitwege nur zum geringen Teil von selbsttätigen Einrichtungen hergestellt, sondern im wesentlichen vom Teilnehmer selbst ermittelt werden. Die Leitwegermittlung bereitet den Teilnehmern, die mit der Organisationsform der DB, der Abgrenzung der Direktions-

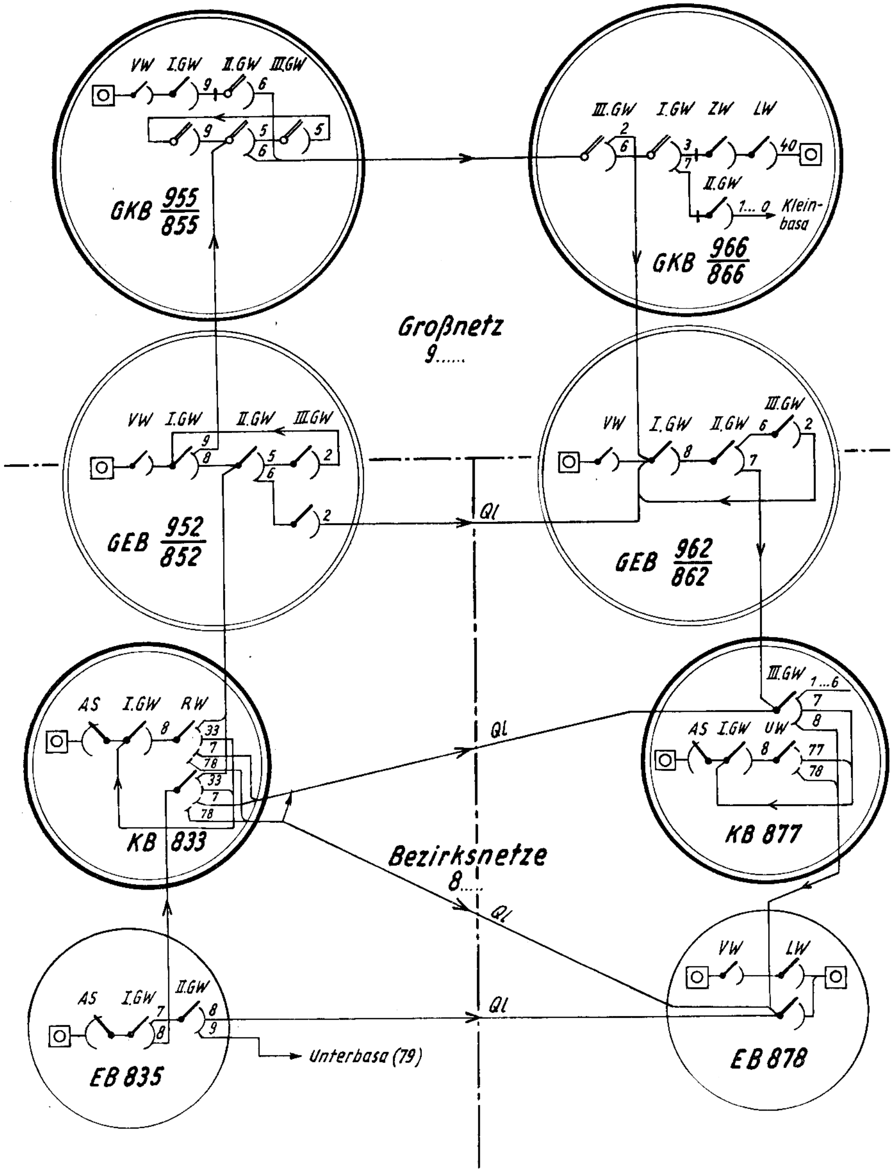

VW
I.GW
II.GW
III.GW
GKB $\frac{955}{855}$
III.GW
I.GW
ZW
LW
II.GW
1...0
Klein-basa
GKB $\frac{966}{866}$
Großnetz
9......
VW
I.GW
II.GW
III.GW
GEB $\frac{952}{852}$
VW
I.GW
II.GW
III.GW
GEB $\frac{962}{862}$
Ql
AS
I.GW
RW
KB 833
III.GW
AS
I.GW
UW
KB 877
Ql
Bezirksnetze
8.....
Ql
AS
I.GW
II.GW
EB 835
Ql
Unterbasa (79)
VW
LW
EB 878

Bild 4. Verbindungsaufbau im Basanetz

bezirke sowie mit der Abwicklung des Fernsprechverkehrs vertraut und mit entsprechenden Dienstbehelfen ausgerüstet sind, keine Schwierigkeiten. Erhöhte, unzweckmäßige Wählarbeit, die u. U. die Wirtschaftlichkeit des zweistufigen Kennzahlsystems in Frage stellen könnte, ist jedoch zu erwarten, wenn sich die Masse des Verkehrs nicht mehr innerhalb der einzelnen Nummernbereiche (Großnetz oder Bezirksnetz) abwickelt, sondern über die BD-Bezirke hinausstrebt.

Da durch organisatorische Änderungen in vielen Dienstzweigen der DB sich schon seit Jahren eine Zunahme des überbezirklichen Sprechverkehrs bemerkbar macht, ist es daher nicht ausgeschlossen, daß die DB eines Tages ihr jetziges Kennzahlsystem auf ein einheitliches einstufiges System umstellt.

Genauere Unterlagen hierüber werden die Verkehrsablaufmessungen (Zielfaktorregistrierungen) ergeben, die die DB in den nächsten Jahren im gesamten Netz durchführen wird.

3. Dämpfungsplan

Der Dämpfungsplan der DB (Bild 5) sieht als Höchstwert für eine Fernverbindung zwischen 2 beliebigen Basateilnehmern eine Gesamtbezugsdämpfung von 4,4 Np vor. Dieser Wert setzt sich für eine Verbindung, die auf dem Kennzahlweg, wie dargestellt, über das Großnetz geführt wird, aus dem Höchstwert von 2 mal 1,5 Np für die Bezugsdämpfung (Restdämpfung) in den beiden Bezirksnetzen sowie der Sendebezugsdämpfung von 1,2 Np und der Empfangsbezugsdämpfung von 0,2 Np der am Gespräch beteiligten Teilnehmeranschlüsse zusammen. Dabei sind für alle Verbindungswege im Großnetz Vierdrahtverbindungen vorausgesetzt, die in den Großnetzknotenbasa vierdrähtig mit der Durchgangsdämpfung 0 Np durchgeschaltet werden.

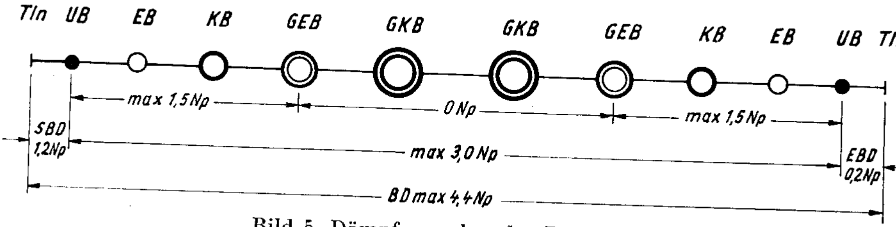


Bild 5. Dämpfungsplan des Basanetzes

Die Verbindungen von den Großnetzbasa zu den Bezirksnetzknotenbasa (KB) sind entweder Vierdrahtverbindungen (TF-Kanäle) oder bespulte Zweidraht-Kabelleitungen, in Einzelfällen auch Freileitungen (Cu 3). Sie werden in den Großnetzbasa z. Z. meist noch zweidrähtig, in einigen Großnetzbasa bereits vierdrähtig durchgeschaltet. Es ist geplant, die Großnetzbasa nach und nach auf vierdrähtige Durchschaltung aller Fernverbindungen umzustellen. In Basa mit vierdrähtiger Durchschaltung werden alle Verbindungen dämpfungsfrei zusammengeschaltet. Im Endverkehr sind in diesen Basa für den Übergang zu Teilnehmeranschlüssen Gabel-Wähler vorgesehen, die die erforderliche Restdämpfung gewährleisten. Zweidraht-Netzgruppenleitungen ohne Endverstärker erhalten in den Relaisübertragungen Gabel und Leitungsnachbildung, so daß sie vierdrähtig an die Wähler herangeführt werden können. In den Bezirksnetz-Knoten- und Endbasa wird grundsätzlich zweidrähtig durchgeschaltet. Dabei werden die Zweidraht-Verbindungen im Durchgangsverkehr mit auflaufender Restdämpfung, die Vierdrahtverbindungen mit Durchgangsdämpfung 0 Np betrieben. Für den Endverkehr, für den eine Restdämpfung von 0,8 Np vorgeschrieben ist, enthalten die Fernwahl-Ue der zu entdämpfenden Leitungen ein schaltbares Leitungsverlängerungs(LV)-Glied, das im Durchgangsverkehr durch ein zwischen der ankommend und der abgehend belegten Fernwahl-Ue wirksam werdendes Kennzeichen selbsttätig ausgeschaltet wird. Dieses Entdämpfungskennzeichen wird auch zwischen einer unverstärkten und einer verstärkten Leitung ausgetauscht, wobei die unverstärkte Leitung mit mindestens 0,4 Np Dämpfung für die Erfüllung der Restdämpfungsbedingung sorgt. Ist die Restdämpfung der unverstärkten Leitung kleiner als 0,4 Np, dann wird sie durch ein der Leitung fest zugeordnetes LV-Glied auf 0,4 Np ergänzt.

Werden in den Ausläufern der Netzgruppen die zulässigen Dämpfungswerte überschritten, so werden zur Entdämpfung der Leitungen Gabel- bzw. NLT-Verstärker eingeschaltet.

Die Teilnehmer-Anschlußleitungen liegen zu etwa 70 v. H. in Bahnhofskabeln mit 0,8 mm Aderdurchmesser. Sie haben eine Länge von höchstens 1 bis 1,5 km, also einen Schleifenwiderstand unter 100 Ohm. Bei 20 v. H. der Anschlußleitungen beträgt der Schleifenwiderstand bis zu 250 Ohm. Der Rest liegt im Bereich von 250 bis 750 Ohm und mehr. Um auch für diese Anschlüsse die im Dämpfungsplan zugelassenen Werte einhalten zu können, werden, den Richtlinien der DBP entsprechend, die Leitungen in 3 Reichweitegruppen (0—250; 250—500; > 500 Ohm Schleifenwiderstand) eingeteilt und diesen Gruppen die entsprechenden Hör- und Sprechkapseln zugeordnet. Teilnehmeranschlußleitungen, deren Sendebezugsdämpfung zu hohe Werte erreicht und deren Schleifenimpulsgabe nicht sicher gewährleistet ist, erhalten Zusatzspeisung.

III. Übertragungswege

Das Fernsprechnetz der DB setzt sich aus niederfrequenten Sprechwegen über Freileitungen und Kabel sowie aus trägerfrequenten Kanälen über Freileitungen, Kabel und Richtfunksysteme zusammen.

Das Gesamtleitungsnetz hat eine Länge von rd. 370 000 km (Kanalkm), die sich in 245 000 km NF- und 125 000 km TF-Verbindungswege aufteilen. 29 160 km TF-Verbindungswege verlaufen über das Richtfunknetz, das eine Streckenlänge von 1064 km hat.

1. Kabel

Die DB hat bereits frühzeitig mit der Verkabelung ihres Fernsprechnetzes begonnen. Das Kabelnetz der freien Strecke umfaßt z. Z. rd. 11 000 km. Das älteste Kabel — rd. 300 km mit Dieselhorst-Martin-Verseilung — ist noch heute in Betrieb und stammt aus dem Jahre 1923 (Tabelle 1). Ab 1934 wurden ausschließlich sternverseilte Streckenfernmeldekabel verlegt (Tabelle 2).

Zur trägerfrequenten Ausnützung wurden nach dem Kriege nur noch sternverseilte Kabel mit 1,2/1,4/0,9 mm Aderpaaren verwendet, wobei die TF-Kreise auf den unbespulten 1,2 mm-Vierern (Z bei 800 Hz = 150 Ohm) liegen.

Tabelle 1

Daten des DM-Kabels

Aderpaare	Bespulung	Spulenabstand	Übertragungsbereich
1,4/0,9	St 190 mH V 70 mH	2 km	300 ... 2100 Hz 300 ... 2400 Hz

Tabelle 2

Daten der sternverseilten Kabel

Aderpaare	Bespulung	Spulenabstand	Übertragungsbereich
bis 1956 1,4/0,9	St 140 mH V 83 mH	1700 m	300 ... 2400 Hz 300 ... 2100 Hz
ab 1957 1,4/0,9	St 80 mH V 40 mH	1700 m	300 ... 3400 Hz 300 ... 3000 Hz

Auch bei den älteren Streckenfernmeldekabeln sind unbespulte TF-Vierer mit 1,2 oder 1,4 mm Aderdurchmesser (Z = 173 bzw. 131 Ohm) vorgesehen. An elektrifizierten Strecken wurden in den letzten Jahren ausschließlich Kabel mit Aluminiummantel, der einen besseren Reduktionsfaktor als der Bleimantel hat, verlegt. Diese Kabel sind auch für Eisenbahn-Brücken besonders gut geeignet, da Aluminium weit weniger als Blei der interkristallinen Korrosion durch die Erschütterungen fahrender Züge unterliegt.

An fernmeldetechnisch besonders wichtigen Strecken verlegt die DB seit 1963 gemischtpaarige Streckenfernmeldekabel mit zwei Zwergkoaxialleitern.

In Bild 6 ist der Querschnitt eines 36paarigen Streckenfernmeldekabels mit 2 Koaxialleitern mit dem Aufbau 2 Kx/10 × 1,4/8 × 0,9 dargestellt. Die beiden Koaxialleiter (1,2/4,4 mm) liegen in der Lage der 1,4 mm Sternvierer, also nicht im Kernvierer, weil die einzelnen Zwergtuben einschließlich Isolation etwa den gleichen Außendurchmesser wie die Sternvierer mit 1,4 mm Aderdurchmesser haben. Der Kabelaufbau kann dadurch für die normalen NF-Verbindungen wesentlich freizügiger dem jeweiligen Bedarf angepaßt werden. Die Koaxialpaare werden mit dem Trägerfrequenzsystem V 300 im Vierdraht-Gleichlageverfahren belegt. Der Wellenwiderstand des Koaxialleiters beträgt 75 Ohm (bei 1 MHz), die Dämpfung bei der höchsten Übertragungsfrequenz (1,3 MHz) 0,690 Np/km, die Verstärkerfeldlänge 5,95 km.

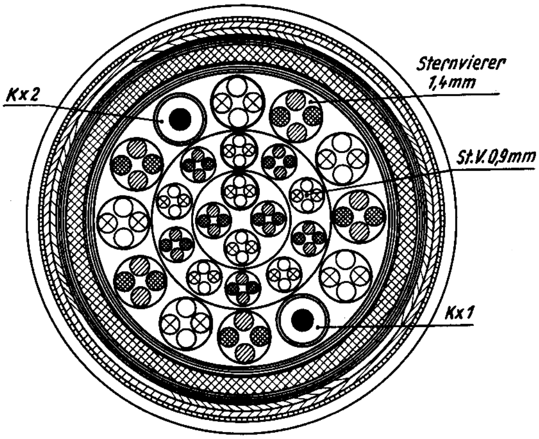


Bild 6.
Querschnitt eines Streckenfernmeldekabels mit Zwergkoaxialpaaren

2. NF-Verstärker

Zur Entdämpfung niederfrequenter Kabelverbindungen sind noch heute aus den Anfängen der Streckenverkabelung die eigens für die damalige Reichsbahn entwickelten Einheitsverstärker vorhanden. Sie sind jeweils für eine bestimmte Verstärkerart als Zweidraht- oder Vierdraht-Zwischenverstärker, bzw. Zweidraht- oder Vierdrahtendverstärker ausgeführt und auf Stamm- und Phantomleitungen eingesetzt. Später kam der Allverstärker II hinzu, der jedoch nur in einigen wenigen Verstärkerstellen Verwendung fand. Alle diese Verstärker benötigen besondere Verstärkerstromversorgungen. Der Allverstärker II wurde durch den 60-Volt-Verstärker, Bauart Allverstärker III, abgelöst, der den großen Vorteil brachte, daß er aus der 60-Volt-Schiene der Basa gespeist und den Relaisübertragungen für Tonfrequenz- und Induktivwahl im gleichen Gestell unmittelbar zugeordnet werden konnte. Bemerkenswert bei diesem Verstärker ist ferner die veränderbare Leitungsnachbildung, mit der alle vorkommenden Nachbildungen von der einfachsten Freileitungsnachbildung bis zur erweiterten Hoyt-Nachbildung rasch hergestellt werden können. Neuerdings beschafft die DB nur noch den volltransistorisierten Allverstärker, der sich für alle Anwendungen auf Zweidraht- und Vierdrahtverbindungswegen eignet.

Der Transistorverstärker benötigt 24-V-Gleichspannung. Die maximale Verstärkung beträgt 3,8 Np bei 800 Hz. Der eingebaute Entzerrer läßt sich auf alle bei der DB vorkommenden Streckenfernmeldekabeltypen einstellen.

Um die Planungsdämpfungen auch in den Ausläufern des Netzes einhalten zu können, werden zur Entdämpfung längerer unbespulter Zweidrahtleitungen (Verbindungsleitungen zu Unterbasa und Teilnehmeranschlußleitungen) in größerem Umfange NLT-Verstärker eingesetzt. Sie werden dem Leitungsanfang in der Basa, bei dem die Versorgungsspannung (24 V) zur Verfügung steht, zugeordnet.

3. Trägerfrequenzeinrichtungen

A. Mehrfach-Einkanalsysteme

Die DB hat heute nur noch wenige ältere Trägerfrequenzgeräte in Betrieb, die aber bald durch moderne Systeme ersetzt werden. Es sind dies die Mehrfach-Einzelkanalsysteme der Form MK I und MK II (je 5 Kanäle) und MEK 8, die unabhängig voneinander einzeln und in Gruppen auf einer Leitung betrieben werden können. Während das MEK 8-System bereits einen systemeignen Wahlkanal besitzt, wird beim MK-System, das die Trägerfrequenz und das NF-Band mit beiden Seitenbändern überträgt, mit 100 Hz gewählt. Die MK-Systeme werden ausschließlich auf Freileitungen bis etwa 100 km Länge eingesetzt, während die MEK-Systeme auch auf Kabeln betrieben werden. Die normal überbrückbare Leitungsdämpfung beträgt etwa 4 Np.

B. Mehrfach-Gruppensysteme

Die häufigste Anwendung haben im Netz der DB die Trägerfrequenzsysteme der Form MVZ 12/24 gefunden. Es sind Mehrzweck-Vierdraht-Zweidraht-Systeme für 12 bzw. 24 Kanäle, die wahlweise in Vierdraht- oder Zweidrahtschaltung auf Freileitungen, Kabeln und Funkverbindungen eingesetzt werden können. Beim Zweidrahtbetrieb arbeitet das System nach dem Getrenntlageverfahren mit 12 Sprechkreisen; übertragen werden die Bänder 6 ... 54 kHz (Richtung A) und 60 ... 108 kHz (Richtung B). Als Grundleitungen werden symmetrische Kabel-Aderpaare (1,2 oder 1,4 mm ⌀) und Freileitungen (Cu 3) verwendet. Im Vierdrahtbetrieb wird das Gleichlageverfahren angewandt und bei Geräten mit 12 Kanälen (V 12) der Bereich von 6 ... 54 oder 60 ... 108 kHz, bei Geräten mit 24 Kanälen (V 24) der Bereich von 6 ... 108 kHz übertragen. Alle Kanäle sind mit systemeigener Wahl ausgerüstet. Das System überbrückt auf symmetrischen Kabeladern etwa 7,0 Np, auf Freileitungen etwa 2,5 Np, wobei eine Reserve von 3 Np für Rauhreif berücksichtigt ist.

Mitte 1963 wurde erstmalig bei der DB das volltransistorisierte Trägerfrequenzsystem VZ 12 M (Bild 7) eingesetzt, das anstelle des röhrenbestückten MVZ 12-Systems das 12-Kanal-Einheitssystem der DB sein wird. Der mechanische und elektrische Aufbau dieses Systems ist so einheitlich, daß alle Einschübe einer Endstelle verschiedener Hersteller gegeneinander ausgetauscht werden können. Auch das VZ 12 M-System entspricht in seinen Leistungsmerkmalen den Empfehlungen des CCITT, weist aber noch einige Neuerungen wie Batterie-Stromversorgung, Einzelkanalüberwachung und Anpassungsmöglichkeiten für alle vorkommenden Abzweigfälle auf. Im Gegensatz zu allen älteren TF-Systemen enthält das neue System kein zentrales Schaltfeld. Die zum Prüfen und Regeln erforderlichen Meß- und Trennstellen sind dezentral den einzelnen Einschüben zugeordnet. Geprüft und gemessen wird mit der Abfrageeinrichtung und einer als Einschub ausgebildeten Meßschaltung. Die Endschaltungen (Gabelschaltung mit Nachbildung und Leitungsverlängerung) befinden sich nicht mehr im TF-Gerät, sondern werden in die Fernwahl-Übertragungen eingebaut. Das TF-Gerät kann jedoch auch

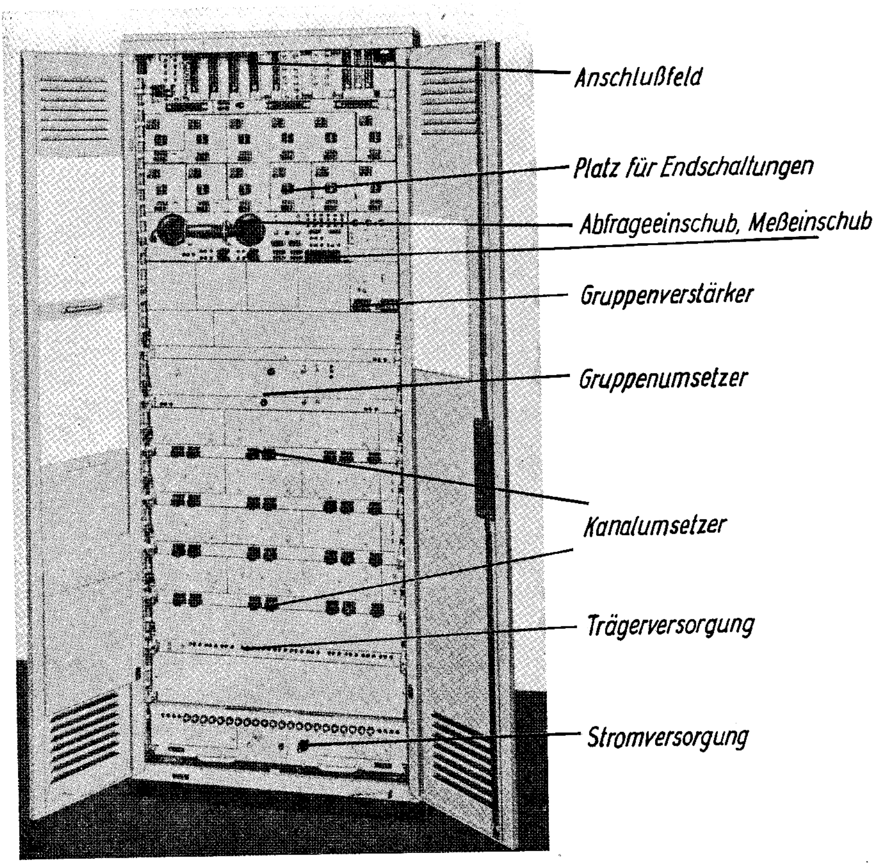

Anschlußfeld
Platz für Endschaltungen
Abfrageeinschub, Meßeinschub
Gruppenverstärker
Gruppenumsetzer
Kanalumsetzer
Trägerversorgung
Stromversorgung

Bild 7. Ansicht einer VZ 12 M-Endstelle (Werkphoto Telefunken)

Endschaltungen (Einschübe) aufnehmen, wenn in Einzelfällen vollständige Endschaltungen mit OB-Rufsätzen benötigt werden. Die Betriebsspannung (24 V) wird einem lastgeregelten Stromversorgungseinschub entnommen, der mit einer im Bereitschafts-Parallelbetrieb arbeitenden Gleichrichter-Batterieanordnung verbunden ist.

Das neue System bietet die Möglichkeit, innerhalb einer TF-Strecke in einer oder beiden Richtungen eine oder mehrere Dreiergruppen aus dem Übertragungsband des TF-Systems über Gabeln abzuzweigen und zu demodulieren oder die abgezweigten Gruppen in der TF-Lage über eine dritte Trägerleitung weiterzuführen (hochohmiges Abzweigen ohne Wiederbelegen).

Eine weitere Abzweigvariante ergibt sich beim Abzweigen über Filter. Sie gestattet das Wiederbelegen des Übertragungsbandes mit den abgezweigten Gruppen. Neben der Überwachung des Übertragungsweges mit den üblichen Leitungspiloten wird noch jeder Kanal einzeln überwacht, um zu verhindern, daß von einer Störung nicht betroffene

Gruppen durch Pilotausfall gesperrt werden. Durch eine mit dieser Einzelkanalüberwachung verbundene Sperrfunktion wird ferner verhindert, daß nicht betriebsfähige Verbindungen den Teilnehmern zugänglich bleiben. Der Leitungspilot dient nur noch der automatischen Pegelregelung.

Zum Überwachen wird die Signalfrequenz (3850 Hz) mit einem Pegel von − 2,5 Np (Tiefpegel) dauernd übertragen. Sinkt der Pegel um etwa 0,6 Np, sperrt sich die Verbindung beidseitig und löst Alarm aus. Der Tiefpegel, der im übrigen keine Regelaufgaben zu erfüllen hat, wird zur Übermittlung der Leitungszeichen (Belegen, Wählen, Auslösen) kurzzeitig hochgetastet. Die Einzelkanalüberwachung, die eine entsprechende Ergänzung der Fernwahl-Überwachung erfordert, ermöglicht auch das Fernsperren von Hand, d. h. das Sperren beider Seiten der Verbindung, ohne Störungsalarm auszulösen.

C. V 120-System

Im 7-GHz-Richtfunknetz und in der Abzweigtechnik des V 300-Systems wird das V 120-System verwendet, das im Vierdraht-Gleichlageverfahren 120 Sprechkanäle in der Frequenzlage 60 bis 552 kHz überträgt. Das System ist volltransistorisiert und wird in Schrankgestellbauweise als Groß- oder Kleingestell eingesetzt.

D. V 300-System

Das V 300-System wird auf Kleinkoaxialpaaren im Vierdraht-Gleichlageverfahren betrieben. Es überträgt 300 Sprechkanäle im Frequenzbereich 60 ... 1300 kHz. Dabei wird das trägerfrequente Übertragungsband über die 12-Kanalgruppe (Grundprimärgruppe 60 ... 108 kHz) und die 60-Kanalgruppe (Grundsekundärgruppe 312 ... 552 kHz) aufgebaut. Die zur Systembildung erforderlichen Einrichtungen sind volltransistorisiert. Die Betriebsspannung beträgt 24 V. Sie wird aus einem Gleichrichter für Bereitschaftsbetrieb mit parallelgeschalteter Batterie entnommen.

Eine V 300-Endstelle setzt sich aus Kanalumsetzergestellen, einem Gruppenumsetzergestell und einem Systemgestell zusammen. Ein Kanalumsetzergestell kann Kanalumsetzereinschübe für 60 Sprechkanäle aufnehmen.

Zwischenverstärker (ZV) sind bei Betrieb auf Kleinkoaxialleitern mit 75 Ohm Wellenwiderstand in Abständen von 5,95 km, d. s. 14 Kabellängen, erforderlich. Die Zwischenverstärker werden teils oberirdisch, teils unterirdisch eingebaut. Oberirdische Zwischenverstärker werden an allen Abzweigstellen und Fernspeisestellen vorgesehen. Die unterirdischen ZV werden mit Gleichstrom ferngespeist. Ein Speiseabschnitt enthält im allgemeinen nicht mehr als 7 Zwischenverstärker (rd. 41,6 km Kabellänge). Bei Fernspeisung in beiden Richtungen werden mithin 14 Zwischenverstärker über insgesamt rd. 83 km Kabellänge versorgt. Die Fernspeise-Spannung, die von der Länge des Speiseabschnittes abhängt, liegt bei etwa 200 bis 300 V. Sie wird aus einer 24-V-Batterie mit elektrisch arbeitendem Zerhacker gewonnen. Die temperaturbedingten

Dämpfungsänderungen der Koaxialpaare, die zwischen Sommer und Winter rd. 2,24 Np betragen können, erfordern einen entsprechenden Dämpfungsausgleich, den eine selbsttätig arbeitende Pegelregelung besorgt.

Im Netz der DB wird ein Verfahren angewandt, das den Pegel nicht punktweise, sondern abschnittsweise (Speiseabschnitte) und unabhängig von der Umgebungstemperatur der unterirdischen Zwischenverstärker regelt. Es benützt zur Regelung sowohl die temperaturabhängigen Änderungen des Fernspeisesystems der Unterflurverstärker, als auch die Pilotsteuerung der oberirdischen Verstärker. Zum Eingrenzen von Störungen im Hochfrequenzteil der unterirdischen Zwischenverstärker dient ein Impulsortungsgerät. Auf seinem Bildschirm läßt sich an der Form und an der Amplitude der Impulse — über jeden Zwischenverstärker kehrt ein Impuls zurück — ein gestörter Verstärker erkennen. Auch die Speisestromschleife kann überprüft und der Fehlerort ermittelt werden. Dies geschieht mit Hilfe der sogenannten 100-kOhm-Prüfung.

Abzweigtechnik

Das V 300-System läßt sich wegen seiner einfachen Abzweigmöglichkeiten besonders wirtschaftlich einsetzen. Im Netz der DB werden folgende Abzweigfälle angewandt:

a) Abzweigen von Primärgruppen aus der 1. und 2. Sekundärgruppe mittels Gabelschaltungen ohne Wiederbelegen;

b) Abzweigen von Primärgruppen aus der 1. und 2. Sekundärgruppe mittels Gabelschaltungen und Sperrfilter mit Wiederbelegen;

c) Abzweigen beliebiger Sekundärgruppen mit Sekundärgruppenumsetzern mit Wiederbelegen.

Zum Abzweigen wird ein normales Zwischenverstärker-Gestell für oberirdischen Einbau verwendet, das zusätzlich Abzweiggabeln und (für das Abzweigen mit Wiederbelegen) 564-kHz-Sperrfilter enthält. Sperrfilter, die nur eine Sekundärgruppe sperren, sind bei der DB nicht vorgesehen. Zum Auflösen der Sekundärgruppen in Primärgruppen wird das transistorisierte V 120-System verwendet, dessen Systemgestell die für die Abzweigstelle erforderliche Trägerstromversorgung enthält. Für Primärgruppen, die zu einem anderen System durchgeschaltet werden müssen, gibt es Primärgruppen-Durchschaltefilter. Beim Abzweigen mit Wiederbelegen ist dieses Durchschaltefilter bei allen 12-Kanalgruppen, die durchgeschaltet werden müssen, einzusetzen. Zum Durchschalten von Sekundärgruppen sind Durchschaltefilter für das Band 312 . . . 552 kHz erforderlich.

4. Richtfunk

Das seit 1952 bestehende UKW-Richtfunknetz, an das insgesamt 7 Großnetzbasa angeschlossen sind, soll als ein von den übrigen Verbindungswegen unabhängiger Übertragungsweg die ständige Betriebsbereitschaft im Großnetz gewährleisten. Jeder Funkkanal kann maximal 24 Trägerfrequenzkanäle übertragen.

Insgesamt ist dieses Netz mit 120 Sprechkanälen beschaltet. Die Zahl der Funkstellen beträgt 13, davon 6 Relaisstellen.

Da der im DB-Netz benützte UKW-Bereich von 41 . . . 68 MHz sich für den genannten Zweck als nicht mehr geeignet erwiesen hat, wird das UKW-Richtfunknetz zur Zeit durch ein im 7-GHZ-Bereich arbeitendes Richtfunknetz (Systembezeichnung FM 120/7000) ersetzt. Auf einem Funkkanal lassen sich 120 Trägerfrequenzkanäle im Bereich von 60 bis 552 kHz (V 120) und zusätzlich noch 12 Kanäle (V 12 t) im Bereich von 6 bis 54 kHz übertragen. Die Primärgruppen des Übertragungsbandes können an Abzweigstellen mittels Primärgruppen-Durchschaltefilter freizügig aufgeteilt werden. Mittels TF-Gabeln und TF-Weichen sind weitere kombinierte Abzweigschaltungen möglich.

Das neue Netz sieht den Anschluß von 12 Großnetzbasa vor. Die Streckenlänge beträgt rund 1200 km bei 30 Funkstellen, davon 19 Relaisstellen.

IV. Bahnselbstanschlußanlagen (Basa)

1. Allgemeine Leistungsmerkmale

A. Basa-Bauarten

Im Jahre 1934 wurden mit der Einführung eines einheitlichen dekadischen Direktwahlsystems, der Einheitsbasa V/34, die Voraussetzungen für die Zusammenfassung der Direktionsfernsprechnetze nach einheitlichen Grundsätzen geschaffen. Die früheren Sonderentwicklungen sowie die alten Vorwählersysteme, die unter der Bauartbezeichnung I bis IV geführt wurden und die sowohl schaltungstechnisch als auch baulich erheblich voneinander abwichen, konnten inzwischen durch die Einheitsbauart V ersetzt werden.

Die Einheitsbasa (Eb) V/34 ist ein 60-V-Vorwählersystem mit Hebdrehwählern für zweidrähtige Durchschaltung. 1941 kam, neben einigen schaltungstechnischen Neuerungen, die Möglichkeit der vierdrähtigen Durchschaltung durch Einführung achtarmiger Motordrehwähler hinzu (Einheitsbasa V/41).

Die Bauart V wurde 1955 durch die Bauart VI, einem 60-V-System mit EMD-Wählern, abgelöst, das für zwei- und vierdrähtige Durchschaltung geeignet ist. Heute sind im Netz der DB bei allen Basa mit mehr als 60 Teilnehmeranschlüssen nur noch die Bauarten V und VI in Betrieb. Eine Sonderstellung nehmen die kleinen und mittleren Basa ein, für die aus wirtschaftlichen Gründen bestimmte Sonderausführungen entwickelt wurden.

Die Basa sind in der Mehrzahl sogenannte „verbundene Anlagen“, in denen die Schaltglieder des Orts- und Fernverkehrs einschließlich aller für den Verkehr mit dem öffentlichen Netz erforderlichen Einrichtungen zusammengefaßt sind. Zahlreiche kleinere Basa mit meist weniger als 20 Teilnehmeranschlüssen und geringem Verkehr mit dem öffentlichen Netz werden als reine Privatfernmeldeanlagen, also als Anlagen ohne Postverkehr, betrieben. Der Postverkehr wird bei diesen Basa entweder über Posthauptanschlüsse, Zwischenstellenumschalter oder besondere W-Nebenstellenanlagen abgewickelt.

B. Basa-Baustufen

Nach der Zahl der Anschlußmöglichkeiten werden bei den Basa 3 Baustufen unterschieden. Die Stufe 1 umfaßt die Kleinbasa mit 4 bzw. 10 (14) Teilnehmeranschlüssen und 1 bzw. 2 Verbindungsleitungen, die Stufe 2 die mittleren Basa mit 15 bis 56 Teilnehmeranschlüssen und etwa 3 bis 14 Verbindungsleitungen und schließlich die Stufe 3 die großen, unbegrenzt erweiterungsfähigen Basa. Zur Gruppe der „Kleinbasa“ wird (einer früheren Einteilung nach) auch die 30teilige Hebdrehwähler-Kleinbasa (K 30) für 30 Teilnehmeranschlüsse und etwa 3 bis 6 Verbindungsleitungen gerechnet, die aber ihren Leistungsmerkmalen nach zur Gruppe der mittleren Basa gehört. Die K 30 wird heute nicht mehr gebaut, ist aber noch in größerem Umfange in Betrieb. Die Kleinbasa mit den Bauartbezeichnungen K 4 und K 10 (14) sind dekadische Direktwahlsysteme mit Relaiswählern bzw. Drehwählern, während die mittleren Basa, die ESK- und die Schalterbasa, zu den dekadischen, indirekt gesteuerten Wählsystemen mit ESK-Kopplern bzw. Koordinatenschaltern gehören.

In der folgenden Tabelle sind die wesentlichsten Leistungsmerkmale der kleinen und mittleren Basa zusammengestellt.

C. Wähler

In allen Basa ist die Vorwahlstufe (Vorwähler (VW) bzw. Anrufsucher (AS)) grundsätzlich einstufig ausgebildet. II. VW bzw. II. AS werden nicht verwendet. Innerhalb einer Basabauart (Eb V oder Eb VI) sind die Gruppenwähler (GW) aller Wahlstufen, auch die Post-GW (PGW), nach der gleichen Schaltung ausgeführt. Die Teilnehmerschleife wird beim Verbindungsaufbau von Wahlstufe zu Wahlstufe weitergeführt. Die Wahlimpulse werden vollsymmetrisch als Schleifenimpulse übertragen. Die Mikrofonspeisung der rufenden und gerufenen Sprechstelle übernimmt der Leitungswähler (LW) von getrennten Speisebrücken aus. Beim Melden des Gerufenen sendet der LW den Meldestromstoß aus, der rückwärtsgerichtet die gesamte Verbindung durchläuft.

Der Meldeimpuls dient im Fernverkehr über Tonwahlverbindungen zur sprachfrequenten Durchschaltung. Im ankommenden, von der Abfragestelle bedienten (halbselbsttätigen) Verkehr auf OB-Fern- und Bezirksleitungen und Leitungen des öffentlichen Netzes dient er ferner zur Abschaltung einer nach 40 Sekunden wirksam werdenden selbsttätigen Auslösung, sofern sich der Gerufene nach der Weitervermittlung meldet. Durch diese Auslösung würde die von der Vermittlung aufgebaute Verbindung zum Platz abgeworfen und der Wiederanruf (Lampe und Wecker) gebracht. Der LW schaltet, um die Wahl auf Fernleitungen und ins Postnetz sowie Nachrufen auf OB-Fern- und Bezirksleitungen ohne Stromstoßumsetzung zu ermöglichen, die Sprechadern unter Umgehung des Abriegelungsübertragers (OLÜ) und der Speisebrücken unmittelbar zum nächsten Schaltglied durch. Die rufende Sprechstelle wird alsdann aus der Relaisübertragung gespeist. Der LW kann in jeder beliebigen Dekade mit Hilfe besonderer Dekadenkontakte selbsttätig eindrehen, also wie ein GW arbeiten. Die LW-Schaltung sieht

Tabelle 3

Leistungsmerkmale der kleinen und mittleren Basa

Baustufe	Bauart, Ausführung	Max. Teiln. Zahl, Koppelanordnung	Betriebsspannung	Ausbau	Einsatz im Basanetz als
1 Kleinbasa	K 1/4 Wandschrank	4 Teiln. Relaiswähler	24 V	1 Innenweg 1 Fern- od. Postleitg.	Unterbasa
	K 2/10 (14) Wandschrank	10 (14) Teiln. Drehwähler	24 V	2 Innenwege 2 Fernleitg.	Unterbasa
2 Mittlere Basa	K 30 Gestellausführung	30 Teiln. Vorwähler und Hebdrehwähler	60 V	5 Innenwege Je nach Bedarf: etwa 6 Fernleitg. 1 Postleitg.	Unterbasa oder Endbasa mit oder ohne Postverkehr
	ESK-Basa S Standschrank	25 Teiln. ESK-Koppler	48 V	2 Innenwege 1 Hilfsweg Je nach Bedarf: 3 Fernleitg. 1 Postleitg.	wie K 30
	ESK-Basa G Gestellausführung	56 Teiln. ESK-Koppler	48 V	4 Innenwege 1 Hilfsweg Je nach Bedarf: etwa 14 Fernleitg. 1 bis 3 Postleitg.	wie K 30
	Schalterbasa S Standschrank	30 Teiln. 1 KS 53 b *)	60 V	3 Innenwege 1 Hilfsweg Je nach Bedarf: 4 Fernleitg. 1 Postleitg.	wie K 30
	Schalterbasa G u. GS Gestell- bzw. Schrankausführung	56 Teiln. 1 bis 2 KS 53 a *)	60 V	5 Innenwege 1 Hilfsweg Je nach Bedarf: etwa 14 Fernleitg. 1 bis 3 Postleitg.	wie K 30

*) Koordinatenschalter

ferner Aufschaltemöglichkeit auf besetzte Teilnehmeranschlüsse, und zwar sowohl von der Vermittlung als auch in besonderen Fällen vom Teilnehmer aus vor. Im Verkehr mit dem öffentlichen Netz kann der Teilnehmer Rückfrage halten.

In Basa mit nur einer Wahlstufe wird der LW, falls der Teilnehmer nach dem Belegen nicht weiterwählt, durch einen Thermokontakt nach einer bestimmten Zeit wieder freigeschaltet.

Beim I. GW dient zum Freischalten eine besondere, aus einem 34teiligen Drehwähler bestehende Freischalteeinrichtung. Nach Gesprächsschluß wird die Freigabe der für die Verbindung benutzten Wähler durch den Teilnehmer veranlaßt, der seinen Sprechhörer zuerst auflegt.

Als Mittel zur Richtungsausscheidung und Verkehrszusammenfassung werden in den Bezirksnetzknotenbasa Umsteuer- oder Richtungswähler (UW oder RW) eingesetzt. RW werden insbesondere in denjenigen Knotenbasa bevorzugt, deren Verkehrsaufkommen im wesentlichen im eigenen Knotenbereich verbleibt oder über Querleitungen abgewickelt werden kann.

Um die Leistung größerer Fernleitungsbündel zu erhöhen, werden diesen Bündeln Mischwähler (MW) vorgeordnet. MW werden im Netz der DB ferner auch als Zwischenwahlstufe zwischen einem ankommenden Bündel ohne Freiwahlmittel und einem abgehenden Bündel anderer Leitungszahl, d. h. im Weichenverkehr, eingesetzt.

D. Schaltkennzeichen

Innerhalb der Basa werden die einzelnen Schaltaufgaben mit den Schaltkennzeichen (Gleichstromzeichen) für Belegen, Wählen, Melden, Auslösen und Rückauslösen abgewickelt. Dazu kommen noch die Kennzeichen für Rückfragen im Postverkehr sowie für Tastendrucksteuerung und für das Ausschalten von Dämpfungsgliedern (Entdämpfungskennzeichen) beim Durchgangsfernverkehr. Nach Gesprächsschluß wird, wie bereits erwähnt, eine Verbindung durch den Teilnehmer ausgelöst, der zuerst auflegt (Auslösung durch den rufenden, Rückauslösung durch den gerufenen Teilnehmer). Der Rückauslösung kommt besondere Bedeutung bei allen von der Vermittlung (Vm) hergestellten Verbindungen zu, die dadurch nach Gesprächsschluß ohne Zutun der Vermittlung von selbst ausgelöst werden können. Auch der Meldeimpuls dient im wesentlichen zum Steuern der von der Vermittlung aufgebauten Verbindungen.

Das Erdkennzeichen bei der Rückfrage im Postverkehr wird von einem differential in der Teilnehmerschleife liegenden Relais aufgenommen, das im abgehenden Postverkehr der Postübertragung, im ankommenden Postverkehr dem LW zugeordnet ist und das von dort zur Postübertragung weitergeleitet wird.

Ein besonderes Merkmal kleiner und mittlerer Basa ist die Tastendrucksteuerung, die im Verbindungsverkehr zur vorgeordneten Basa die Wahl einer Kennzahl ersetzt. Diese Steuerschaltung besteht aus einer hinter der Vorwahlstufe eingeschleiften Relaiskette, deren Relais beim Drücken der Erdtaste nach Ansprechen eines in den Sprechadern liegenden, differential geschalteten Relais den nachgeordneten GW oder

LW mit einer fest vorgegebenen Zahl von Wählimpulsen in die zweite Dekade steuern. In der Dekade 2, die in diesem Falle für andere Anschlüsse ausfällt, sucht der Wähler das angeschlossene Bündel in Freiwahl ab. Der Teilnehmeranschluß ist also nach dem Tastendruck, ohne zu wählen, bis zum Wähler der ersten Wahlstufe in der vorgeordneten Basa durchgeschaltet. Aus dieser Steuerung ergeben sich eine Reihe von Vorteilen, wie Kennzahlvereinfachung, gemeinsames Sprechstellenverzeichnis mit der vorgeordneten Basa und in Knotenbasa die Einsparung von Umsteuer- oder Richtungswählern.

Mit dem Zusatz für Austausch des Entdämpfungskennzeichens sind grundsätzlich alle Fern-Übertragungen (Fern-Ue) ausgerüstet, die im Bahn-Fernverkehr auf verstärkten oder unverstärkten Leitungen eingesetzt werden.

E. Hörtöne

Zur Kontrolle des Aufbauzustandes einer Verbindung dienen dem Teilnehmer akustische Signale von 450 Hz, die sich im einzelnen nur durch ihre verschiedenen taktmäßigen Unterbrechungen voneinander unterscheiden.

Der Basaton (Wählton), der vor Beginn der Nummernwahl und im Fernverkehr bei Erreichen der Endwahlstufe (I. FGW) ertönt, wird in mittleren und großen Basa im Takte von Morsezeichen gegeben, die dem ersten oder den ersten beiden Buchstaben des Ortsnamens der Basa entlehnt sind. Dieser Hörton sollte früher vor Einführung der Ortsansage dem morsezeichenkundigen Eisenbahner ein Wegweiser im Fernverkehr, insbesondere bei der Staffelwahl, sein. Heute ist im Bahnfernverkehr nach Erreichen der Zielbasa und zwischendurch auch bei der Staffelwahl die Ortsansage eines zentralen Kurztextgebers hörbar. Nur bei Kleinbasa wird ein einheitlicher Wählton im Takte des Morsezeichens k oder s verwendet. Der Freiton (Rufkontrolle) wird im Takt des 10-Sekunden-Rufes und der Besetztton im Takte des Morse-e gegeben. Der Besetztton wird grundsätzlich in allen Wahlstufen und auch in der Vorwahlstufe im Abschaltefall angelegt.

F. Teilnehmeranschlüsse

Eine Basa hat in der Regel den Sprechverkehr aus zwei verschiedenen Netzen zu vermitteln; den Verkehr aus dem Bahnnetz (Ortsnetz und Fernnetz) und den Verkehr aus dem öffentlichen Netz (Postnetz). Die Sprechbeziehungen des einzelnen Basateilnehmers können auf den engeren Ortsnetzbereich beschränkt sein oder auch über das gesamte Bahnfernnetz und das öffentliche Netz reichen. Diesen unterschiedlichen Verkehrsbeziehungen entsprechend sind die Basa-Teilnehmeranschlüsse in Gruppen verschiedener Verkehrsberechtigung aufgeteilt (Bild 8).

Die wichtigste Gruppe, die Nebenstellen, sind Teilnehmeranschlüsse, die über die internen Verbindungswege Zugang zum öffentlichen Fernsprechnetz der Deutschen Bundespost (Postnetz) und zum Bahnnetz haben.

Den nichtpostberechtigten Anschlüssen, den sogenannten Bahnstellen, steht nur der Zugang ins Bahnnetz offen. Daneben bestehen noch

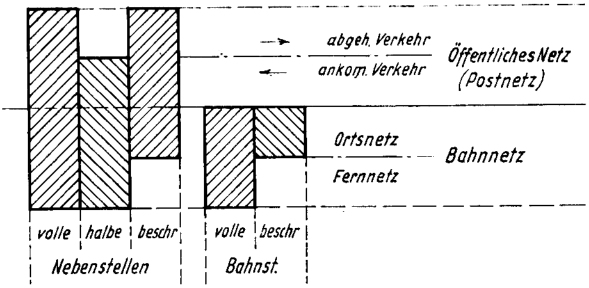


Bild 8. Verkehrsberechtigung der Teilnehmeranschlüsse

beschränktberechtigte Bahn- oder Nebenstellen, die vom Bahnnetz abgeschnitten sind, sowie halbamtsberechtigte Nebenstellen, die aus dem Postnetz nur angerufen werden können, im Bahnfernverkehr dagegen keinerlei Beschränkungen unterliegen. Es sei besonders betont, daß im Sprachgebrauch der DB nur die postberechtigten (amtsberechtigten) Teilnehmeranschlüsse als „Nebenstellen“, alle anderen Anschlüsse als „Bahnstellen“ bezeichnet werden.

Die Bahn- und Nebenstellen werden zur Ausscheidung der Postberechtigung in der Regel in getrennten Hundertergruppen untergebracht, so daß an den Post-GW bzw. Post-LW des ankommenden Postverkehrs nur die den Nebenstellen zugeordneten Dekaden zu verdrahten sind.

Zugang zum öffentlichen Netz erhalten die berechtigten Teilnehmer grundsätzlich durch Wahl der Ziffer 0. Die Sperrung des abgehenden Postverkehrs wird für die Bahnstellen entweder durch Sperrerde am VW bzw. an der Teilnehmerschaltung (TS) in Verbindung mit einem Dekadenkontakt des I. GW bzw. LW (bei Hunderterbasa) oder durch Aufteilung der Bahn- und Nebenstellen auf getrennte Gruppen erreicht.

Die Teilnehmeranschlüsse sind einheitlich mit einem Tischfernsprecher ausgerüstet. Wandfernsprecher werden nur in geringem Umfange verwendet. Anschlüsse mit lebhaftem Sprechverkehr erhalten Zweischleifenfernsprecher. Alle Basafernsprecher besitzen eine Erdtaste, die beim Betätigen die a/b-Adern symmetrisch erdet. Sie wird in der Hauptsache im Postverkehr zur Rückfrageumsteuerung und im Bahnverkehr zur Tastendrucksteuerung benutzt.

Wichtigen Teilnehmeranschlüssen kann eine „selbsttätige Weiterschalteinrichtung“ zugeordnet werden, die einen Anruf auf eine bestimmte andere Sprechstelle umschaltet, sofern der Anruf nicht innerhalb einer gewissen Frist beantwortet wird.

In Sonderfällen (bei Leitungsmangel) werden jeweils zwei entfernt liegende, benachbarte Teilnehmeranschlüsse zu Zweieranschlüssen mit gemeinsamer Anschlußleitung zusammengefaßt. Die Anschlußleitung des Zweieranschlusses endet auf der Basaseite an einer besonderen Relaisübertragung, auf der Teilnehmerseite an einem Relaisumschalter, an die die beiden Fernsprecher unmittelbar angeschlossen sind. Andere Gemeinschaftsanschlüsse wie Zehner- oder Wählsternanschlüsse hat die DB bisher nicht eingeführt.

Teilnehmeranschlüsse, deren Leitungen wegen hoher Beeinflussungsspannung durch Leitungsübertrager abgeriegelt werden müssen, erhalten Zusatzeinrichtungen für induktive Stromstoßgabe. Der Anschlußleitung wird auf beiden Seiten je eine Relaisübertragung zugeordnet.

G. Sonderfernsprecher

Im Gesamtnetz der DB sind rund 120 000 Basafernsprecher in Betrieb. In Einzelfällen finden außerdem die für Nebenstellenanlagen allgemein zugelassenen Sonderfernsprecher, wie Zweiwege-, Parallel- und Vorzimmer-Fernsprecher Verwendung.

Eine Sonderausführung, die eigens für die DB entwickelt wurde, stellt der Basa-Mehrfachfernsprecher 61 (MFspr 61) dar. Er ist für zentrale Büros bestimmt, in denen auf mehreren Arbeitsplätzen eine Vielzahl von Fernsprechanschlüssen (Basa- oder Posthauptanschlüsse) bedient werden müssen. Der Bedienungsfernsprecher wird in zwei Größen für 10 und 20 Anschlüsse gefertigt. Zum Bedienen der Anschlüsse und zur Abgabe zusätzlicher Schaltbefehle wie Rückfragen, Warten, Weckerumschalten, Rufen usw. werden ausschließlich Leuchttasten verwendet. Die Basa-Mehrfachfernsprecher können in beliebiger Zahl parallelgeschaltet sowie durch Freisprecher, Namentaster und Anrufordner ergänzt werden. Wie Bild 9 zeigt, setzt sich eine Basa-Mehrfachfernsprechanlage aus dem Bedienungsfernsprecher, der Platzschaltungsrelaisschiene sowie aus den Relaisschienen für die Post- und Basaanschlüsse und den übrigen Ergänzungseinrichtungen zusammen. Zur Parallelschaltung mehrerer Basa-Mehrfachfernsprecher dienen besondere Vielfach-Relaisschienen. Für den Verkehr der Sprechstellen untereinander ist eine Ringleitung mit Einzelruftasten für jede Sprechstelle vorgesehen. Die Betriebsspannung der Anlage ist 24 oder 60 V.

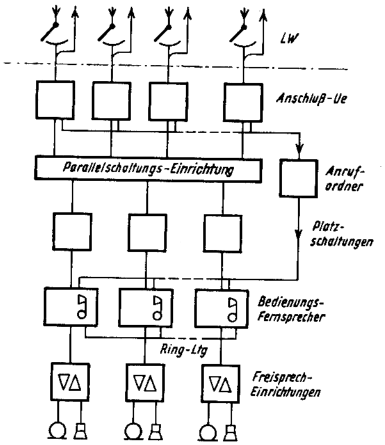


Bild 9. Blockschaltplan einer Basa-Mehrfachfernsprechanlage

2. Kleine, mittlere und große Basa

A. Kleinbasa

Im Netz der DB werden 3 Größen von Kleinbasa (K), und zwar die K 1/4, K 2/10 (14) und K 30, verwendet. Sie werden in der Regel als Unterbasa bei kleineren Dienststellen eingesetzt.

Der Verkehr der Teilnehmer untereinander und mit dem Bahnnetz ist vollselbsttätig. Die vorgeordnete Basa wird mit Tastendruck erreicht. Die Bahnverbindungsleitungen können mit Gleichstrom-, Induktiv- oder Trägerfrequenzwahl betrieben werden.

Die K 1/4 (1 Verbindungsleitung, 4 Teilnehmeranschlüsse) ist entweder für den Anschluß an das Bahnnetz oder an das öffentliche Netz vorgesehen. In letzterem Falle wird die K 1/4 meist zusätzlich neben einer bereits vorhandenen Basa ohne Postanschlüsse eingesetzt. Im ankommenden Postverkehr übernimmt ein bestimmter Teilnehmeranschluß die Funktionen der Abfragestelle.

Die K 2/10 (14) (2 Verbindungsleitungen, 10/14 Teilnehmeranschlüsse) kann durch Nachbau einiger Relais von 10 auf 14 Teilnehmeranschlüsse erweitert werden. Die beiden Verbindungsleitungen können auch getrennt zu verschiedenen Basa führen. Die erste Basa wird dabei durch Tastendruck, die zweite Basa durch Wahl einer Kennziffer erreicht. Anschluß an das Postnetz ist nicht vorgesehen.

Im Gegensatz zu den Kleinbasa 1/4 und 2/10 (14), deren Ausbau keinerlei Veränderung zuläßt, kann die Kleinbasa K 30 in gewissem Umfange den verschiedensten betrieblichen Erfordernissen angepaßt werden. Sie ist eine Hunderter-Basa nach dem VW-System mit drei 10teiligen VW-Rahmen und einem 12teiligen LW-Rahmen, die in einem gemeinsamen Gestell untergebracht sind. Den 30 VW-Anschlüssen werden mindestens 5 LW zugeordnet. Die restlichen LW können als Fernleitungswähler (FLW) für den Anschluß von Fernleitungen benutzt werden. Anstelle einer Fernleitung kann auch eine Postleitung treten, deren Relaisübertragung Rückfrage- und Umlegemöglichkeit enthält. Der ankommende Postverkehr wird mit einem vereinfachten Abfragefernsprecher, der einen Gebührenzähler enthält, abgewickelt.

Die Post- bzw. Nichtpostberechtigung der Teilnehmeranschlüsse kann wie bei den großen Basa der Bauart V durch Gruppierung und Anlegen von Erdpotential am VW ausgeschieden werden.

B. Mittlere Basa

Bei den mittleren Basa werden anstelle von Wählern Koppelanordnungen aus Edelmetall-Schnellkontakt-Relais (ESK-Relais) bzw. Koordinatenschaltern verwendet. Diese ESK- und Schalterbasa können je nach Ausführung bis zu 56 Teilnehmeranschlüsse aufnehmen. Sie werden als Unterbasa mit offener oder verdeckter Kennzahl und als Bezirksnetzendbasa eingesetzt. Die Zahl und Art der anzuschließenden Fernleitungen ist bis zur Grenze von etwa 14 Fernleitungen beliebig. Die vorgeordnete Basa kann mit Tastendruck oder Kennzifferwahl erreicht werden. Im abgehenden Bahnfernverkehr besteht ferner die Möglichkeit, vom Kennzahlweg selbsttätig auf einen Querweg umzusteuern. Zur Abwicklung des Postverkehrs ist bei Basa mit nur 1 Postleitung ein vereinfachter Abfragefernsprecher, bei Basa mit 2 bis 3 Postleitungen ein Vermittlungsfernsprecher vorgesehen. Die Postleitung wird von den Nebenstellen mit der Ziffer 0 erreicht.

a) Schalterbasa

Schalterbasa werden seit 1958 im Netz der DB verwendet. Es sind zwei Größen entwickelt worden; eine kleinere für 30 Teilnehmeranschlüsse in Schrankausführung und eine größere für 56 Teilnehmeranschlüsse in Schrankausführung und in offener Gestellbauweise. Weitere Einzelheiten über den Ausbau der Schalterbasa sind aus Tabelle 3 ersichtlich.

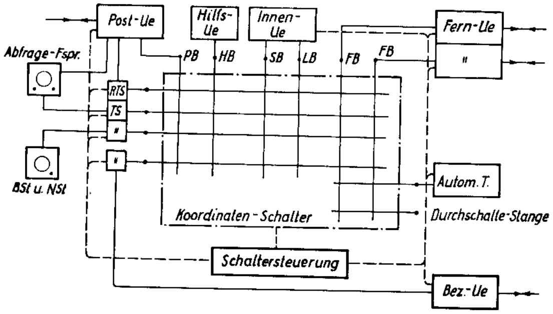


Bild 10.
Übersichtsplan einer Schalterbasa

Erklärung der Abkürzungen:

HB = Hilfsbrücke
LB = Leitungsbrücke
FB = Fernbrücke
SB = Suchbrücke
PB = Postbrücke
Ue = Übertragung

TS = Teilnehmerschaltung
RTS = Rückfrage-Teilnehmerschaltung
NSt = Nebenstelle
BSt = Bahnstelle

Die Verbindungsmöglichkeiten sind aus dem Übersichtsplan Bild 10 zu ersehen. Die Koppelanordnung besteht aus einem Koordinatenschalter, der bei der Schrankausführung 13 Brücken, bei der Gestellausführung 17 Brücken enthält, die etwa den Wählern (AS, LW, FLW, PLW) vergleichbarer Wählerbasa entsprechen. Die einzelnen Brücken werden indirekt mit Hilfe der Schaltersteuerung eingestellt. Die Wahlinformationen werden von sogenannten Zählmagneten aufgenommen, die in den Relaisübertragungen (Innen-, Hilfs-, Fern- und Bezirks-Ue) untergebracht sind.

Internverbindungen oder Verbindungen zwischen Teilnehmeranschlüssen und Wählbezirksleitungen werden über eine Innen-Ue mit der dazugehörigen Such- und Leitungsbrücke aufgebaut. Beim Aufbau abgehender Bahnfern- oder Postverbindungen wird nach Wahl der Verkehrsausscheidungsziffer von der zunächst eingestellten Suchbrücke der Innen-Ue auf eine Fern- bzw. Postbrücke gewechselt und dann der Innenverbindungsweg ausgelöst. Eine Hilfsweg-Ue ermöglicht den abgehenden Verbindungsaufbau zu Post- und Bahnfernleitungen auch dann, wenn alle Innenverbindungswege belegt sind. Sie übernimmt ersatzweise die Funktionen der Innen-Ue, kann aber keine Internverbindungen herstellen, weil ihr die Leitungsbrücke fehlt.

Ankommende Postverbindungen werden am Abfragefernsprecher abgefragt und dem gewünschten Teilnehmer auf dem Rückfragewege über einen Innenverbindungsweg zugeteilt. Anschließend wird die Postbrücke auf den Nebenstellen-Anschluß geschaltet; die Innen-Ue löst wieder aus.

Im ankommenden Bahnfernverkehr nehmen Zählmagnete in der Fern-Ue die Wahlimpulse auf. Nach der Wahl der Teilnehmer-Rufnummer wird die Fern-Brücke der Fern-Ue an die Teilnehmerschaltung des Gerufenen geschaltet. Die Fern-Ue schaltet anschließend zum Teilnehmer durch und übernimmt dabei die Funktionen eines Leitungswählers.

Das Durchverbinden zweier Fernleitungen verschiedener Verkehrsrichtungen geschieht über die Kontakte einer besonderen Durchschaltestange, die die Fernbrücken der beiden Fern-Ue der Durchgangsverbindung miteinander verbinden.

Wie bereits eingangs erwähnt, besteht die Möglichkeit, im abgehenden Bahnfernverkehr von einer Fernleitung des Kennzahlweges auf die Fernleitung eines Querweges umzusteuern. Diese Umsteuerung von der Fern-Ue der ersten Richtung auf die Fern-Ue der Querrichtung wird durch die in der 1. Fern-Ue aufgenommene Wahlinformation eingeleitet. Sie wird in der Schaltersteuerung ausgewertet und veranlaßt einen Brückenwechsel.

Die Schalterbasa in Gestellausführung besteht in der Regel aus 2 bis 3 Gestellrahmen normaler Höhe (2365 mm). Gestell 1 enthält im unteren Teil die Koordinatenschalter, darüber befindet sich der Apparaterahmen mit dem Bedienungsfeld aus Tasten, Lampen und Sicherungen. Im oberen Teil befinden sich Teilnehmerschaltungen und Innen-Ue, die Schienen für die Schaltersteuerung sowie die beiden Rahmen für die Ruf- und Signalmaschinen. Das Gestell 2 und 3 enthält die Post- und Fernwahl-Ue. Dazu kommt ein einholmiger Gestellverteiler als Haupt- und Zwischenverteiler.

b) ESK-Basa

ESK-Basa sind ebenfalls in Schrankausführung und in offener Gestellbauweise entwickelt worden. Der Ausbau dieser beiden Ausführungen ist aus der Tabelle 3 zu ersehen. Die Verbindungsmöglichkeiten sind im Übersichtsplan Bild 11 dargestellt.

Die Koppelanordnung besteht aus ESK-Relais, die zu einzelnen senkrecht angeordneten Kopplern (Eingangs(EK)-, Leitungs(LK)-, Hilfs(HK)-, Post(PK)- und Fern(FK)-Kopplern) zusammengefaßt sind. Die EK, LK, PK und FK sind den Verbindungsrelaissätzen bzw. den Post- und Fernwahlübertragungen fest zugeordnet. Die Größe dieser Koppelanordnung richtet sich nach dem Ausbau der Basa. Das Koppelfeld ist in einem schwenkbaren Rahmen untergebracht.

Interne Verbindungen verlaufen über den EK, die Innen-Ue und den LK.

Zum Aufbau einer Bahnfernverbindung wählt der Teilnehmer nach der Belegung eines Innenverbindungsweges die Kennzahl der gewünschten Verkehrsrichtung. Der LK schaltet die Innen-Ue an die zentrale Steuerung, die in einem freien FK das dem Teilnehmer zugeordnete Koppelrelais zum Ansprechen bringt und damit den Teilnehmer mit der Fernleitung verbindet. Die Innen-Ue mit dem EK und LK wird sofort wieder frei. Sind alle Innenverbindungswege belegt, dann übernimmt die Hilfs-Ue die entsprechenden Einstellfunktionen. In der gleichen Weise werden abgehende Postverbindungen aufgebaut.

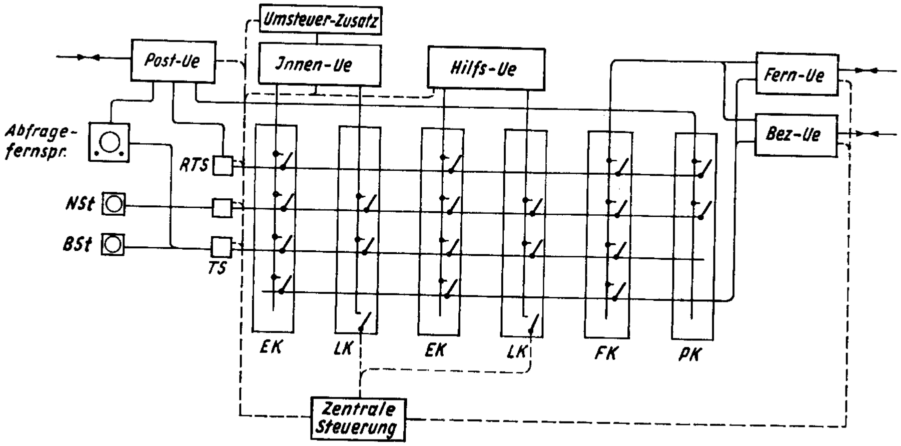


Bild 11. Übersichtsplan einer ESK-Basa

Erklärung der Abkürzungen:

BSt = Bahnstelle
NSt = Nebenstelle
RTS = Rückfrage-Teilnehmerschaltung

EK = Eingangskoppler
LK = Leitungskoppler
FK = Fernkoppler
PK = Postkoppler

Jede Fernwahl-Ue enthält eine Teilnehmerschaltung (TS), die im ankommenden Verkehr zunächst einen EK mit Innen-Ue belegt. Nach Einstellung der Zählketten in der Innen-Ue erhält das dem gewünschten Teilnehmer zugeordnete Koppelrelais im FK Ansprechpotential. Die Fernleitung wird damit unmittelbar vom FK zum Teilnehmer durchgeschaltet. Der Innenverbindungsweg wird anschließend ausgelöst.

Beim Durchgangsverkehr zweier Bahnfernleitungen werden die beiden Fernwahl-Ue nach der Auslösung des zunächst eingestellten Innenweges über den FK der abgehend belegten Fern-Ue unmittelbar zusammengeschaltet.

Beim Umsteuerverkehr wird mit der Wahl der Kennzahl zunächst eine Leitung in Richtung zur vorgeordneten Basa belegt. Sobald nach dem Einstellen der Zählketten der Innen-Ue feststeht, daß eine direkte Querleitung belegt werden kann, wird das Koppelrelais des rufenden Teilnehmers im FK dieser Querleitung markiert und von der Hauptrichtung auf den Querweg umgesteuert. Der Teilnehmer ist dann über den FK mit der Fernwahl-Ue der Querleitung verbunden. Die blindbelegte Fernleitung der Hauptrichtung sowie der Innenverbindungsweg lösen aus. Abgehende Fernverbindungen können auch im sogenannten Richtungsverkehr aufgebaut werden. Dabei wird der Innen-Ue ein zentraler Impulswiederholer (IW) zugeordnet, der die Wahlinformationen zunächst speichert und später bei Bedarf wieder aussendet, so daß die beim Umsteuerverkehr üblichen Blindbelegungen unterdrückt werden. In den Fällen, in denen bei einem Verbindungsaufbau der nur einmal vorhandene IW gerade nicht zur Verfügung steht, werden die abgehenden Fernverbindungen wie beim Umsteuerverkehr aufgebaut.

Die Betriebsspannung der ESK-Basa beträgt 48 V, die Reichweite der Teilnehmeranschlüsse 2 × 375 Ohm. Die ESK-Basa wird im Regelbetrieb aus einem Netzanschlußgerät direkt gespeist, das den Spitzenstrombedarf deckt und auch eine Ersatzstromquelle, d. h. eine kleine 48-V-Batterie in betriebsfähigem Zustand erhalten kann. Bei den Fernmeldeanlagen der DB sind aber nur 24- oder 60-V-Betriebsspannungen üblich. Es werden daher für ESK-Basa in der Regel keine besonderen 48-V-Batterien aufgestellt, sondern bereits vorhandene 24-V-Stromversorgungsanlagen anderer Verbraucher als Ersatzstromquelle bei Netzausfall mitbenutzt. Der 24-V-Batterie (Hauptbatterie) wird in diesem Falle eine weitere 24-V-Batterie (Zusatzbatterie) über einen Umschaltezusatz parallel geschaltet. Bei Netzausfall wird die 24-V-Zusatzbatterie durch den Umschaltezusatz mit der Hauptbatterie hintereinandergeschaltet und die Basa sodann aus der neugebildeten 48-V-Batterie gespeist. Ein großer, parallel zur Speiseleitung liegender Kondensator sorgt dafür, daß die Umschaltung keine Unterbrechung verursacht.

C. Große Basa

a) Einheitsbasa Bauart V

Die Bauart V (Entwicklungsjahr 1934) ist ein Vorwählersystem mit Viereckwählern in der Gruppen- und Leitungswählerstufe. Sie wurde für kleinere Basa ab 50 Teilnehmeranschlüsse ohne GW-Stufe bis zu den größten Basa mit mehreren GW-Stufen und beliebig vielen Teilnehmeranschlüssen verwendet. Basa der Bauart V werden nicht mehr neu gebaut, sondern nach und nach durch solche der Bauart VI ersetzt.

Der VW ist ein zehnteiliger Drehwähler mit 5 Schaltarmen; der 5. Schaltarm dient zur Berechtigungsausscheidung im abgehenden Postverkehr. GW und LW sind 100teilige dreiarmige Viereckwähler. Wähler und Relaissatz sind auswechselbar in 20teilige Gestellrahmen eingebaut. Bei den Umsteuerwählern (UW) sind 2 Ausführungen vorhanden. Die ältere Ausführung mit Schrittschalt-Drehwählern kann 13 Richtungen (1 Haupt- und 12 Umsteuerrichtungen für insgesamt 24 bis 30 Leitungen) absuchen.

Bei Belegung schaltet der UW sofort in der Hauptrichtung zur vorgeordneten Basa durch und steuert bei Wahl bestimmter, den Ql-Bündeln zugeordneten Kennzahlen nach der ersten oder zweiten Ziffer unter Freigabe des zuerst belegten Bündels um. Die Ql-Bündel werden in freier Wahl abgesucht. Sind alle Ausgänge des Ql-Bündels belegt, so bleibt der UW auf der zuerst belegten Leitung der Hauptrichtung stehen. Der weitere Verbindungsaufbau wickelt sich in der Hauptrichtung ab. Die neueste UW-Ausführung besteht aus einem 100teiligen EMD-Wähler mit zweimal vier nichtversetzten Schaltarmen. Die zweimal 56 Ausgänge des Wählers werden in Bürstenwahl erreicht. Der UW kann Leitungsbündel von insgesamt 12 Richtungen (1 Haupt- und 11 Umsteuerrichtungen) aufnehmen.

Der Richtungswähler (RW) ist ein zweimal vierarmiger EMD-Wähler mit nichtversetzten Wählerarmen. Er kann mit Leitungsbündeln von insgesamt 17 Richtungen belegt werden. Die zweimal 56 Ausgänge des Wählervielfaches sind nicht in einheitliche Dekaden, sondern in zehn Gruppenabschnitte zu je 6 und 5 Schritten in wechselnder Folge aufgeteilt. Der Relaissatz enthält u. a. einen Impulswiederholer (IW). Die EMD-Wähler und die Relaissätze sind in getrennten Gestellen untergebracht, die am Einbauort durch Stecker miteinander verbunden werden. Der RW wird im Wechsel von Markier- und Suchvorgängen eingestellt. Ist eine freie Leitung gefunden, dann wird nach dem Prüfvorgang sofort der Impulsspeicher zum Ausspeichern seiner Wahlserien angelassen. Der RW kann so geschaltet werden, daß er bei besetztem ersten Ql-Bündel auf ein zweites Ql-Bündel der nächsthöheren Ebene und im erneuten Besetztfall in die Hauptrichtung überläuft und anschließend die gespeicherten Impulsserien je nach Kennzahlverdrahtung unterdrückt oder abgibt. Für alle folgenden Wahlserien arbeitet der IW dann als Durchlaufspeicher. Die UW und RW schalten ihre Sprechadern nach der Freiprüfung unmittelbar, also ohne zusätzliche Einfügungsdämpfung durch.

Für die Mischwahlstufe werden Mischwähler (MW) in 2 verschiedenen Ausführungen verwendet: Der Relaismischwähler mit Voreinstellung (Erreichbarkeit k = 10) und der ESK-Mischwähler (k = 6).

Während der Relais-MW mit Eigensteuerung arbeitet, wird der ESK-MW zentral von einem für maximal 25 MW bemessenen gemeinsamen Einstellsatz gesteuert. Ein Gestellrahmen, der stets 2 Einstellsätze (ES) enthält, kann mit 50 MW bestückt werden. Bei Ausfall eines ES übernimmt der zweite ES automatisch die Einstellaufgaben für alle MW des Gestells. Zur Erhöhung der Ausnutzbarkeit der Abnehmerschaltglieder haben alle MW eine Abschaltesteuerung, die dafür sorgt, daß nur solche MW belegt werden können, die an den Ausgängen noch freie Schaltglieder erreichen.

b) Basa Bauart VI

Die Bauart VI, ein Anrufsuchersystem mit 100teiligen, vierarmigen Edelmetall-Motordrehwählern (EMD-Wähler) in allen Wahlstufen gleicht in den Systembedingungen im wesentlichen der Bauart V. Sie wird für Basa aller Größen ab 60 Teilnehmeranschlüsse verwendet und stellt z. Z. das Standardsystem für alle größeren Erneuerungsbauvorhaben dar.

Die Schaltglieder für je 100 Teilnehmeranschlüsse, d. h. die Teilnehmerschaltungen (TS), Anrufsucher (AS) und Leitungswähler (LW), sind in einem gemeinsamen Gestellrahmen (Verbundgestell) (Bild 12) untergebracht. Das Verbundgestell enthält bei Vollausbau in der oberen Hälfte 12 AS und 110 TS, in der unteren Hälfte 12 LW, also 12 v. H. Verbindungsmöglichkeiten. AS und LW benutzen dabei das gleiche Vielfach, das ohne Zwischenverteiler unmittelbar mit den TS verdrahtet ist. In Fällen, in denen 12 v. H. Verbindungsmöglichkeiten je 100 Teilnehmeranschlüsse nicht ausreichen, werden den Verbundgestellen zusätzlich AS und LW in getrennten Einzelgestellrahmen zugeordnet. Je 3 AS-Relaissätze auf 25 TS sind auf einer gemeinsamen Relaisgrundplatte aufgebaut. Die beiden oberen Grundplatten können zusätzlich mit je 5 TS für Sonderanschlüsse bestückt werden. Jedem Teilnehmeranschluß ist eine TS, die aus einem Doppelrelais besteht, zugeteilt. In der TS wird die Berechtigung für den abgehenden Verkehr ausgeschieden. Bei Rückauslösen, Nichtwählen des rufenden Teilnehmers, im Störungsfall und bei Abschaltung wird die bestehende Verbindung freigeschaltet, auf die TS abgeworfen und Besetztton angelegt. Beim Ansprechen einer TS wird über eine Anlaßrelaiskette ein freier AS angelassen.

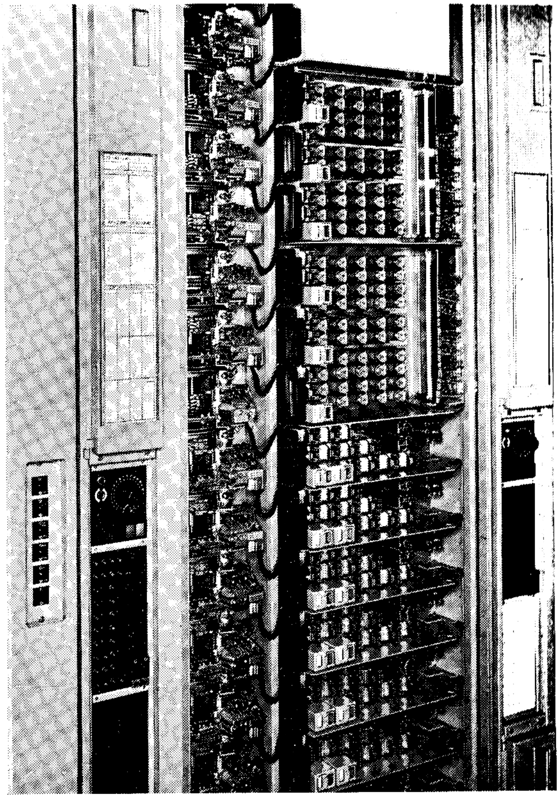


Bild 12. Teilansicht eines TS/AS/LW-Gestellrahmens (Werkphoto Siemens)

Der LW der Bauart VI erfüllt gegenüber dem der Bauart V noch zusätzliche Bedingungen: Im ankommenden Abfrage-Postverkehr geht der LW mit dem Melden des Teilnehmers in die Durchschaltestellung. Im Besetztfalle kann die Vermittlung den Verbindungsaufbau bestehen lassen, d. h. auf Halten legen. Der LW wartet dann, von einem zentralen Prüfverteiler gesteuert, bis der Teilnehmeranschluß frei wird. Im ankommenden Post-Durchwahlverkehr wird mit Beginn der Einzelschrittwahl vom LW rückwärts das Wahlendekennzeichen gegeben. Im Besetztfalle gibt der LW das Besetztsignal, das im halbselbsttätigen Verkehr ein optisches Zeichen am Vermittlungsplatz auslöst. Das Besetztsignal verursacht bei Durchwahl im Postfernverkehr zusammen mit dem postseitig anliegenden Fernkennzeichen das sofortige Abwerfen der Verbindung auf den Platz.

Der UW und RW der Bauart VI entspricht im wesentlichen dem EMD-UW und -RW der Bauart V. In der Mischwahlstufe werden EMD-Mischwähler mit der Erreichbarkeit k = 50 verwendet. Künftig werden jedoch nur noch zentral durch Einstellsätze gesteuerte ESK-MW (k = 6) eingesetzt. In der Zwischenwahlstufe bei Weichenbetrieb, bei dem in der

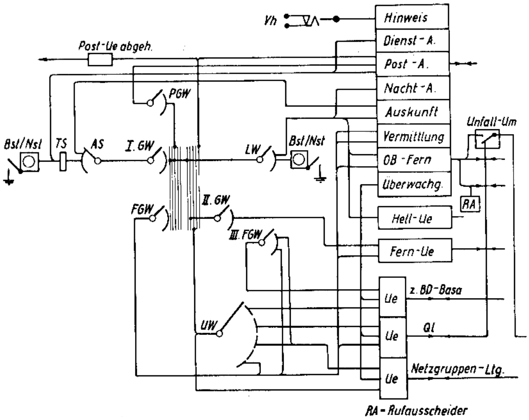


Bild 13. Wählerübersichtsplan einer Bezirksnetz-Knotenbasa

Regel kleinere Bündel (< 10 Leitungen) zusammengeschaltet werden müssen, werden jedoch auch weiterhin die eigengesteuerten Relaismischwähler (k = 10) benutzt. Sie können nach entsprechender Anpassung des Prüfstromkreises in Basa Bauart V und VI verwendet werden. Die Gestellbauhöhe der Bauart VI beträgt einheitlich 2380 mm. Nur in Sonderfällen, in denen die erforderliche Raumhöhe nicht zur Verfügung steht, z. B. in Stellwerken und fahrbaren Basa, werden niedrigere Gestelle mit einer Bauhöhe von 1865 mm verwendet. Bild 13 zeigt den Wählerübersichtsplan einer Bezirksnetz-Knotenbasa Bauart VI.

c) Vierdrähtige Durchschaltung

Bereits vor dem zweiten Weltkrieg war geplant, die Fernverbindungen in den Großnetzbasa vierdrähtig durchzuschalten. Mit der Umstellung des Fernteils dieser Basa von zwei- auf vierdrähtige Durchschaltung wurde bald nach dem Kriege begonnen. Sie konnte allerdings nicht in der wünschenswerten Weise gefördert und zum Abschluß gebracht werden. Bis heute sind daher nur die drei Großnetzknotenbasa Essen, Frankfurt/Main und Nürnberg sowie die Großnetzendbasa München mit Vierdrahtwählern und Vierdraht-Fernwahl-Übertragungen ausgerüstet. Die Vierdrahtwähler, die noch aus der Vorkriegsfertigung stammen, sind Motordrehwähler mit Edelstahlschleifarmen und Messingkontaktbanklamellen, die 4Dr/2Dr-Gabel-GW Hebdrehwähler normaler Ausführung. Für die Zwischenwahlstufe fanden kleine Motordrehwähler mit der Erreichbarkeit k = 15 Verwendung. Seit 1958 werden die alten Motordrehwähler nach und nach durch Vierdraht-EMD-Wähler ersetzt. In der Mischwahlstufe steht der 4Dr-EMD-Mischwähler mit der Erreichbarkeit k = 50 zur Verfügung. An seine Stelle tritt künftig der 4Dr-ESK-Mischwähler mit der Erreichbarkeit k = 6. Er entspricht in seiner Grundschaltung dem 2Dr-ESK-MW. Die Mischwähleranordnung wird so bemessen, daß eine effektive Erreichbarkeit von $k_{\text{eff}} = 20$ erreicht wird. Zur Einsparung von Wählern werden dabei die MW in Sparschaltung mit voller Rückmischung eingesetzt. Bei dieser Mischanordnung sind alle Abnehmerleitungen auf den GW-Schritten 1 ... 4 unmittelbar und auf den Schritten 5 ... 10 nochmals vollzählig über MW zu erreichen.

Die Schalt-Kennzeichen des Vierdrahtsystems sind die gleichen wie die des Zweidrahtsystems. Zur Kopplung der Sprechkreise und Umsetzung der Zeichensteuerung beim Übergang von der Zweidraht- auf die Vierdrahtschaltung und umgekehrt dienen Gabelwähler. 4Dr/2Dr-Gabel-EMD-GW, die mit Hebdrehwählern im Zweidraht-Ortsteil zusammenarbeiten sollen, müssen zwischen beiden Wahlstufen c-Ader-Anpassungsschaltungen erhalten, weil der Prüfkreis des EMD-Wählers an den c-Adereingangskreis des nachfolgenden Schaltgliedes besondere Anforderungen stellt.

3. Fernwahl-Übertragungen

Der Verbindungsaufbau wird im Fernnetz der DB mit den bereits erwähnten Schaltkennzeichen für Belegen, Wählen, Melden, Auslösen und Rückauslösen, die als Impulszeichen über die Fernleitung gegeben werden, gesteuert. Zum Umsetzen dieser Leitungskennzeichen in die Gleichstromkennzeichen der Basa und umgekehrt dienen Fernwahlübertragungen (Fernwahl-Ue), die sowohl die schaltungstechnischen Forderungen des Vermittlungssystems als auch die übertragungstechnischen Bedingungen der Übertragungswege erfüllen müssen. Aus den vielen voneinander abweichenden Bedingungen ergibt sich eine größere Zahl verschiedener Fernwahl-Ue. In der Tabelle 4 sind die im DB-Netz gebräuchlichen Fernwahl-Ue zusammengestellt.

A. Allgemeine Leistungsmerkmale

Die niederfrequenten Zweidraht-Übertragungswege werden je nach ihrer Einordnung in den Netzplan mit oder ohne Endverstärker betrieben. Die 2Dr-Fernwahl-Ue mit Endverstärker, zu der hier auch die für Trägerfrequenzsysteme entwickelte 2Dr-TF-Ue zu rechnen ist, unterscheidet sich gegenüber der Fernwahl-Ue ohne Endverstärker durch die zusätzlichen Schaltmittel für die Anpassung an die Endverstärker (bzw. TF-System), bessere Stromstoßentzerrung und schaltbare Leitungsverlängerung (0,4 Np).

In den 4Dr-Fernwahl-Ue enden die unverstärkten Zweidrahtleitungen an einer Gabel mit individueller Leitungsnachbildung. Bei verstärkten Zweidrahtleitungen tritt an die Stelle der Gabel der Verstärker mit Vierdraht-Basaausgang. 4Dr-Fernwahl-Ue, die in Großnetzendbasa im abgehenden Verkehr auch aus dem Zweidraht-Ortsteil belegt werden, erhalten neben dem Vierdrahteingang einen Gabelzusatz, der den Zweidrahteingang bildet.

Alle Fernwahl-Ue sind vorsorglich mit einer Verdrahtung für ankommenden und abgehenden Weichenbetrieb ausgerüstet, so daß im Bedarfsfall die entsprechenden Weichenrelais leicht nachgebaut werden können. Die 2Dr-Fernwahl-Ue enthalten ferner Zusatz für den Austausch des Entdämpfungskennzeichens.

B. Wahlverfahren

Gleichstromwahl

Die Gleichstromwahl arbeitet mit symmetrischer Schleifenimpulsgabe. Sie wird grundsätzlich auf Teilnehmeranschlußleitungen verwendet. Wegen ihrer geringen Reichweite und besonderen Empfindlichkeit

Tabelle 4

Übertragungswege, Wahlarten und Fernwahl-Ue im Basanetz

Übertragungswege	Wahlart	Fernwahl-Ue für Basa				
		Eb V	Eb VI	ESK-	Schalter-	Vierdraht-
A. Drahtgebundene Sprechwege (Kabel, Freileitungen)						
1. mit NF-Ausnutzung	Gleichstromwahl	×				
	Induktivwahl	×	×	×	×	×
	Induktivwahl mit EV	×	×			×
	Tonwahl (600 Hz)	×	×			×
	Tonwahl (2280 Hz) mit Belegungsquittung					×
2. mit TF-Ausnutzung a) TF-Geräte ohne Zeichenkanal	Tonwahl (600 Hz)	×	×			×
	Tonwahl (2280 Hz) mit Belegungsquittung					×
b) TF-Geräte mit Zeichenkanal	Systemeigene Wahl	×	×	×	×	×
	Systemeigene Wahl mit Belegungsquittung					×
c) TF-Geräte mit Zeichenkanal und Einzelkanalüberwachung	Systemeigene Wahl mit Einzelkanalüberwachung	×	×	×	×	×
	Zwangslaufverfahren		×			×
B. Drahtlose Sprechwege (Richtfunk mit TF-Mehrfachsystemen)		Die Fernwahl-Ue unter B. sind die gleichen wie die unter A. 2. b) und c)				
a) TF-Geräte mit Zeichenkanal	Systemeigene Wahl	×	×			×
	Systemeigene Wahl mit Belegungsquittung					×
b) TF-Geräte mit Zeichenkanal und Einzelkanalüberwachung	Systemeigene Wahl mit Einzelkanalüberwachung	×	×			×
	Zwangslaufverfahren		×			×

gegen Starkstrombeeinflussung ist sie für den Fernverkehr ungeeignet. Sie wird deshalb nur noch in Einzelfällen im Verbindungsverkehr mit Kleinbasa (Unterbasa) angewendet.

Induktivwahl

Die Induktivwahl hat die früher im Eisenbahnnetz übliche 50-Hz-Wechselstrom-Wahl völlig verdrängt. Die Induktivwahl-Ue ist wegen ihrer Einfachheit und Betriebssicherheit die am meisten verwendete Fernwahl-Ue im Netz der DB. Sie entnimmt die für die Zeichengabe erforderliche Energie aus der Basabatterie, benötigt also keine zusätzliche Stromversorgung., Bei dieser Wahlart werden Anfang und Ende der jeweils verschiedenen Zeichen durch Stromstöße wechselnder Richtung festgelegt. Als Sender dient ein Stromstoßtransformator, dessen in einem Gleichstromkreis liegende Primärwicklung durch Ein- und Ausschalten Stromstöße veränderlicher Form und wechselnder Richtung in einer Zweitwicklung induziert und über Leitungsübertrager auf die Leitung überträgt. Als Empfänger dient ein gepoltes Relais. Jedes Zeichen besteht im allgemeinen aus 2 Stromstößen (positiver, negativer Stromstoß). Nur für die Auslösung und Rückauslösung wird ein einzelner (positiver) Stromstoß gesendet. Das gepolte Empfangsrelais wird in diesem Falle gleichstrommäßig im Relaisteil der Fernwahl-Ue zurückgestellt.

Aus Sicherheitsgründen muß vermieden werden, daß Stromstöße gleicher Richtung unmittelbar aufeinander folgen. Da das Auslösezeichen aus einem positiven Stromstoß besteht, muß also ein darauffolgender neuer Belegungsvorgang stets mit einem negativen Stromstoß beginnen. Als Belegungszeichen wird deshalb nacheinander ein negativer, ein positiver und wieder ein negativer Stromstoß auf die Leitung gegeben.

Bei Vierdraht-Leitungen werden diese Zeichen in beiden Richtungen über den gleichen Leitungszweig gesendet.

Tonwahl (600 Hz)

In den älteren Tonwahl-Ue wird als Signalfrequenz 600 Hz für den Regelweg, 750 Hz für den ersten Weichenweg und eine Mischfrequenz von 600 und 750 Hz für den zweiten Weichenweg verwendet. Da die Zeichengabe innerhalb des Sprachbandes liegt, enthält die Ue zusätzliche Schaltmittel zum Schutz des Signalempfängers (SE) gegen fälschliches Ansprechen durch Sprache oder Geräusche. Gegen ungewolltes Auslösen während des Gespräches ist die Ue mit einer sogenannten Langimpulsauslösung (Auslöseimpuls $\geqq$ 600 ms) geschützt. Damit die Signalfrequenz während des Verbindungsaufbaues über mehrere Basa nicht von einem zum anderen Abschnitt überlaufen und Falschwahlen verursachen kann, sind im abgehenden a/b-Zweig jeder Ue schaltbare Kurzschlußbrücken eingebaut, die erst durch den Rückimpuls beim Melden des gerufenen Teilnehmers ausgeschaltet werden.

Tonwahl (2280 Hz)

Für niederfrequente Vierdrahtverbindungen im Großnetz, ferner für TF-Systeme ohne systemeigenen Zeichenkanal wird im DB-Netz in Kürze die Einfrequenz-Tonwahl mit 2280 Hz eingeführt. Ein besonderes Merkmal dieser Tonwahl-Ue ist das Überwachungsverfahren mit Belegungsquittung. Die Überwachung erstreckt sich auf den Übertragungsweg bis zum FGW. Jedem Belegungsimpuls folgt ein von der ankommend belegten Gegenübertragung ausgesendeter Quittungsimpuls. Fehlt die Quittung (Belegung in der Gegen-Ue nicht angekommen, FGW-Überwachungskreis gestört oder Leitung in der Gegenrichtung unterbrochen), so wird die abgehend belegte Ue gesperrt und ein Alarm ausgelöst. Der Rufende erhält den Besetztton. Die selbsttätige Entsperrung des Übertragungsweges wird durch dauernde Prüfbelegungen im 3-Minuten-Abstand gewährleistet. Sobald der Übertragungsweg in Ordnung ist, wird seine Betriebsfähigkeit durch den Quittungsimpuls mit nachfolgender Auslösung wieder hergestellt. Soll der Übertragungsweg beidseitig von Hand gesperrt werden, so wird durch Ziehen einer Sperrtaste ein Dauerton zur Gegen-Ue gesendet. Beide Ue werden dadurch für abgehenden Verkehr gesperrt. Alarm wird in diesem Falle nicht gegeben. Nach Abschalten des Sperrtones werden beide Ue wieder frei.

Auch die neue Ue hat im abgehenden a/b-Zweig eine Kurzschlußbrücke. Sie wird aber, unabhängig vom Teilnehmermeldeimpuls, bereits beim ersten Wahlimpuls abgeschaltet. Die Ue ist so ausgebildet, daß sie auch als TF-Ue für TF-Geräte mit systemeigenem Zeichenkanal verwendet werden kann. Sie benötigt in diesem Falle keinen Tonfrequenzsignal-Empfänger.

Systemeigene Wahl (Trägerfrequenz-Wahl)

Die systemeigene Wahl wird auf TF-Systemen mit eigenem Zeichenkanal verwendet. Die TF-Ue gleicht weitgehend der Tonwahl-Ue. Sender und Empfänger sind im TF-Gerät untergebracht. Zur besseren Überwachung der Übertragungswege werden künftig im Verbindungsverkehr zwischen Vierdrahtbasa TF-Ue mit Belegungsquittung eingesetzt, sofern die TF-Systeme keine Einzelkanalüberwachung zulassen. Auf die Technik dieser Überwachungsart wird im nächsten Abschnitt näher eingegangen. Der Kennzeichenaustausch auf den TF-Verbindungen stimmt mit dem der 2280-Hz-Tonwahl überein. Von dem probeweise eingeführten Auslösequittungsverfahren ist die DB wieder abgegangen, weil es auf doppeltgerichteten Verbindungen in einigen Störungsfällen keine ausreichende Sicherheit gegen Fehlbelegungen gewährleistet.

Systemeigene Wahl mit Einzelkanalüberwachung (Tiefpegelüberwachung)

Dieser TF-Ue liegt der Gedanke zugrunde, die Signalfrequenz 3850 Hz in den neueren transistorisierten TF-Systemen der Form VZ 12 M, V 120 und V 300 zur Überwachung jedes einzelnen Kanals heranzuziehen. Die Signalfrequenz wird dabei, solange der Übertragungsweg nicht belegt ist, dauernd mit einem auf − 2,5 Np herabgesetzten Pegel (Tiefpegel) gesendet. Der normale Signalpegel (Hochpegel) für die Steuerung der Zeichengabe beträgt — 0,5 Np. Zum Eintasten der Signalfrequenz mit Tief- und Hochpegel sind die neuen TF-Systeme mit Signalmodlern und Signalempfängern ausgerüstet, die beide Pegel auswerten können. Sinkt der Tiefpegel um mindestens 0,6 Np, so wird die TF-Ue, die über 4 Signaladern (2 Adern für die Zeichengabe, 2 für die Tiefpegelüberwachung) mit der TF-Endstelle verbunden ist, gesperrt und der abgehende Tiefpegel unterbrochen. Dadurch wird auch die Gegen-Ue gesperrt und auf beiden Seiten Alarm gegeben. In der Sperrzeit wird von beiden Ue, in Abhängigkeit vom 10-Sekunden-Kontakt der Ruf- und Signalmaschine, die Signalfrequenz mit Tiefpegel eingetastet. Kommt sie in beiden Richtungen mit dem vorschriftsmäßigen Pegel an, so werden beide Ue selbsttätig entsperrt. In das Überwachungsverfahren ist auch der FGW mit einbezogen. Durch Ziehen der Sperrtaste kann ein TF-Kanal von Hand gesperrt werden. Dadurch wird der Tiefpegel abgeschaltet, als Folge die Gegen-Ue gesperrt und durch einen nachfolgenden Hochpegel-Sperrimpuls die Alarmgabe verhindert. Das Zurückstellen der Sperrtaste entsperrt die TF-Ue auf beiden Seiten. Bei der Wahl und während des Gesprächszustandes bleibt der Tiefpegel abgeschaltet. Wird die Verbindung ausgelöst, so wird anschließend von beiden Seiten sofort wieder der Tiefpegel eingetastet.

Die TF-Ue mit Einzelkanalüberwachung wird nur in Zweidraht-Basa eingesetzt. Bei vorhandenen Zweidraht-TF-Ue älterer Bauart kann die Einzelkanalüberwachung nachgerüstet werden. In diesen nachgerüsteten TF-Ue fehlt jedoch, wegen Platzmangels in der Relaisschiene, der Zusatz für die FGW-Überwachung. Eine Vierdraht-Ue mit Einzelkanalüberwachung, bei der die Kennzeichen nach dem sogenannten Zwangslaufverfahren übertragen werden, ist z. Z. in Entwicklung. Diese Vdr-Ue wird abweichend von der bisherigen Relaisschienenform in Einschubbauweise gefertigt. Mit Hilfe besonderer Einschübe kann sie auch für Zweidraht-Basa verwendet werden.

4. Wählbezirksleitungen

Bei den Wählbezirksleitungen (Gesellschaftsleitungen) sind zwei verschiedene Ausführungen zu unterscheiden: Die OB-Bezirksleitung mit Wahlzusatz, die nur an nichtelektrifizierten Strecken betrieben werden kann, und die allgemein verwendbare Basa-Bezirksleitung.

A. OB-Bezirksleitung mit Wahlzusatz

Alle gemeinsam an einer Doppelleitung liegenden Teilnehmeranschlüsse sind mit einem OB-Fernsprecher ausgerüstet, dem ein Gleichstrom-Wahlzusatz, bestehend aus Taste, Wählscheibe, Drosselspule und Anschalterelais, zugeordnet ist. Die Leitung ist auf der Basaseite mit einer Gleichstrom-Relaisübertragung abgeschlossen. Die Sprechstellen rufen sich untereinander mit dem Kurbelinduktor, der im Rhythmus bestimmter, jeder Sprechstelle zugeordneter Rufzeichen (Morsezeichen) betätigt werden muß. Bei der Wahl in die Basa muß der Teilnehmer nach dem Abheben zunächst durch Einhören prüfen, ob die Leitung frei ist, dann die Erdtaste seines Wahlzusatzes betätigen und das Hörzeichen der vorgeordneten Basa abwarten. Das Erdkennzeichen bewirkt in der Basa eine Belegung. Gewählt wird simultan über Erde. Die Wählzeichen werden in der Ue von einem Relais aufgenommen und in die Basa weitergegeben. Für den Verkehr von der Basa zu einem Teilnehmer der Bezirksleitung wählt der Rufende zuerst die Leitung mit einer besonderen Kennzahl an. Sofern er beim Einhören feststellt, daß auf der Leitung nicht gesprochen wird, wählt er das Morsezeichen der gewünschten Sprechstelle. Durch verschieden langen Ablauf der Wählscheibe (Ziffer 2 bzw. 9) werden dabei kurze oder lange Stromstoßreihen gesendet, die in der Ue in „Rufpunkte" bzw. „Rufstriche" umgewandelt und mit 25 Hz auf die Leitung gegeben werden. Der Morseruf ertönt bei allen Sprechstellen gleichzeitig und muß hier von den Teilnehmern nach Gehör ausgeschieden werden. Sprechstellen mit stärkerem Sprechverkehr können zusätzlich mit einem sogenannten Rufausscheider ausgerüstet werden, der von allen auf die Leitung gegebenen Morserufzeichen nur das für die betreffende Stelle bestimmte Zeichen als Anruf weitergibt. Die Rufzeichen können Einzelanrufe, aber auch Sammel- und Gruppenrufe sein. Sie werden gleichstrommäßig auf einen Rufanzeiger gegeben und optisch und akustisch angezeigt.

Sind an beiden Enden der Bezirksleitung Basa angeschlossen, so werden beide Basa durch die Wahl unterschiedlicher Kennziffern ausgeschieden. Die Kennziffern werden jeweils in beiden Basa durch ein der Ue zugeordnetes Mitlaufwerk überprüft, das nur bei zutreffender Kennziffer zur gewünschten Basa durchschaltet.

B. Basa-Bezirksleitung

Jede Sprechstelle ist mit einem Fernsprecher mit Wählscheibe, Schauzeichen und Aufschaltetaste sowie einem Relaisbeikasten mit Stromversorgung (6- oder 24-Volt-Batterie mit Gleichrichter) ausgerüstet. Gewählt wird mit induktiver Gleichstromimpulsgabe, so daß alle Fernsprecher gegen die Leitung mit einem Schutzübertrager abgeriegelt werden können, der, insbesondere in Ruhestellung des Fernsprechers, zur Erhöhung des Scheinwiderstandes dient. Die Leitung wird bei der Einführung in die Basa mit einem Leitungsübertrager zur Abriegelung und Anpassung abgeschlossen. Pupinisierte Kabelleitungen werden am freien Leitungsende zur Vermeidung von Reflexionen mit einem Leitungsabschluß (RC-Glied) versehen. Jede Sprechstelle erhält eine ein- oder zweistellige Rufnummer. Die einzelnen Schaltvorgänge werden durch gepolte Relais gesteuert.

Als Zähl- und Codiereinrichtung für die ankommenden Wahlimpulse dienen Wählerrelais. Der selektive Ruf wird beim Gerufenen mittels Gleichstromweckers gebracht. Der Rufende erhält eine Anrufquittung. Nach Gesprächsschluß wird die Verbindung durch den zuerst auflegenden Teilnehmer ausgelöst. Sprechstellen, die nach dem Abheben nicht weiterwählen, werden nach etwa 40 Sekunden von der Leitung abgetrennt. Neben dem Einzelruf können von jeder Sprechstelle auch Gruppen- und Sammelrufe gegeben werden. Die Leitung kann auch in mehrere Abschnitte durch Zwischenschalten von Kupplungsübertragungen (K-Ue) aufgeteilt werden, wenn dies aus technischen oder betrieblichen Gründen erwünscht ist. Dadurch kann die Bezirksleitung mehrfach ausgenützt und die Sprechstellenzahl erhöht werden. Beim Abheben des Sprechhörers wird zunächst die ganze Leitung über sämtliche K-Ue hinweg vorbereitend belegt. Die erste Ziffer der Nummernwahl kennzeichnet den Leitungsabschnitt. Liegt die gewünschte Sprechstelle in der eigenen Teilstrecke, so geben die K-Ue die nicht benötigten Leitungsabschnitte sofort selbsttätig wieder frei. Innerhalb dieser freien Abschnitte können dann weitere Verbindungen aufgebaut werden. Die K-Ue gibt Besetztton, wenn die Teilstrecke nach Wahl der Abschnittskennziffer besetzt ist. Anschlußübertragungen für Basa können an beliebigen Punkten der Bezirksleitung angeschlossen werden. Sie sind ähnlich wie die K-Ue mit einem Mitlaufwerk ausgerüstet. Die Mitlaufwähler überwachen die Nummernwahl auf der Leitung und schalten bei zutreffender Einstell-Nummer zur Basa durch. Die weitere Stromstoßgabe wird dann auf die Wähler der Basa umgesetzt. Die Zahl der Sprechstellen je Basa-Bezirksleitung ist durch die Reichweite der Impulsgabe gegeben. Sie beträgt etwa 20 bis 30 Stellen je nach Länge und Art der Leitung. Die Sprachreichweite wird durch die zulässige Gesamtbezugsdämpfung (2 bis 2,5 Np) zwischen den am weitesten voneinander entfernten Teilnehmern bestimmt. Bild 14 zeigt den Übersichtsplan einer Basa-Bezirksleitung.

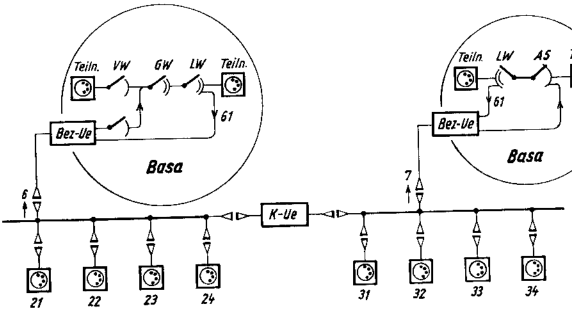


Bild 14.
Basa-Bezirksleitung mit Kupplungs-Ue (K-Ue) und Basa-Anschluß-Ue (Bezirks-Ue)

5. Halbselbsttätige Vermittlung

A. Allgemeine Leistungsmerkmale

Als halbselbsttätige Vermittlung wird der Teil einer Basa bezeichnet, an dem Anrufe aller Art abgefragt und von Hand weitervermittelt werden. Sie ist die nach der Fernsprechordnung der Deutschen Bundespost bei Nebenstellenanlagen übliche „Abfragestelle“.

In der folgenden Tabelle 5 sind die verschiedenen Anschlüsse, die an einer halbselbsttätigen Vermittlung bedient werden können, nach Art und Zweck zusammengestellt.

Die halbselbsttätige Vermittlung ist entsprechend der Zahl der für eine Basa erforderlichen Amtsleitungen in 4 verschiedenen Größen entwickelt worden:

Tabelle 5

Anschlüsse der halbselbsttätigen Vermittlung

Anschlußart	Zweck
1 Postleitungsanschlüsse (Amtsleitungen)	für den Sprechverkehr mit dem öffentl. Netz
2 Auskunftsanschlüsse	zur Erteilung von Auskünften an Basa-Teilnehmer
3 Vermittlungsanschlüsse	zur Herstellung bestellter Verbindungen im Bahnfernverkehr
4 Hinweisanschlüsse	zum Abfragen abgesteckter Teilnehmeranschlüsse und GW-Dekaden
5 Fernwahl-Überwachungsanschlüsse	zur Überwachung von Bahnfernleitungsbündeln
6 Dienstanschlüsse	für den abgehenden Bahnfernsprechverkehr der Abfragestelle
7 Unfallanschlüsse	für den Sprechverkehr besonders Beauftragter bei Unfällen
8 Entstörungsstellenanschlüsse	zur Entgegennahme von Störungsmeldungen bei Abwesenheit des Entstörungsbeamten
9 OB-Bezirksleitungsanschlüsse	für den Bahnfernsprechverkehr auf OB-Verbindungen
10 OB-Fernleitungsanschlüsse	
11 Teilnehmer-Nachtanschlüsse	zur Nachtumschaltung bestimmter Wohnungsanschlüsse

Der vereinfachte Abfragefernsprecher für Basa mit einer Amtsleitung, der kleine 14teilige Bedienungsfernsprecher für Basa mit ein bis drei Amtsleitungen und der große 120teilige Bedienungsfernsprecher für Basa mit drei bis zehn Amtsleitungen. Für Basa mit mehr als 10 Amtsleitungen werden Tischvermittlungen eingesetzt. Die Bedienungstasten bestehen bei allen Baugrößen aus Leuchtdrucktasten bzw. Leuchtdruckdrehtasten, falls die Tasten für 2 Schaltfunktionen vorgesehen sind. Der große Bedienungsfernsprecher und der Vermittlungstisch sind zusätzlich zur Wählscheibe mit einem Zahlengeber ausgerüstet und mit einer steckbaren Abfrageeinrichtung (Handsprechhörer oder leichte Kopfgarnitur) versehen. Gebührenzähler sind jeweils nur einigen Postleitungen zugeordnet.

Der Abfragefernsprecher ist für mittlere Endbasa bestimmt. Er enthält 2 Leuchttasten, 1 Drucktaste (Erdtaste) und 1 Zähler mit Rückstelltaste als Gebührenanzeiger für Postferngespräche. Im Postverkehr dienen die Tasten zum Belegen, Weitervermitteln, Trennen, Aufschalten und für die Nachtschaltung. Die in den Tasten eingebauten Lampen werden als Anruf- und Belegtlampe bzw. als Zählerschlußlampe verwendet. Im Bahnverkehr wird der Abfragefernsprecher als einfacher Teilnehmeranschluß betrieben, der unter der Einheitsrufnummer 1111 zu erreichen ist und damit die Eigenschaft eines Auskunftsanschlusses ohne Weitervermittlungsmöglichkeit erhält.

Für mittlere Endbasa mit höchstens 3 Postleitungen reicht im allgemeinen der kleine 14teilige Bedienungsfernsprecher aus, der neben den Amtsleitungen noch einige der unter Ziffer 1 ... 6 der Tabelle 5 aufgeführten Anschlüsse aufzunehmen hat.

Große Endbasa und Bezirksnetzknotenbasa mit durchschnittlich 3 bis 5 Amtsleitungen erhalten im allgemeinen den großen 120teiligen Bedienungsfernsprecher, an den die unter Ziffer 1 . . . 10 der vorgenannten Tabelle aufgeführten Einheiten angeschlossen werden können.

Großnetzbasa werden grundsätzlich mit Vermittlungstischen ausgerüstet, die in beliebiger Zahl aneinandergereiht werden können. An diese Tische können alle in der Tabelle 5 aufgeführten Anschlußarten in jeder gewünschten Zusammenstellung herangeführt werden.

OB-Fern- und Bezirksleitungen sind im vollautomatischen Netz der DB nur noch in Einzelfällen für Sonderanschlüsse vorhanden. Einige OB-Fernleitungsanschlüsse werden in größeren Basa für den sogenannten „Ersatzbetrieb“ vorgehalten, der bei Ausfall von Basa in Katastrophenfällen den Verbindungsverkehr zu Ersatzvermittlungen (OB- oder ZB-Vermittlungsschränken) ermöglichen soll.

Die Anschlüsse der Vermittlung enden im Wählerraum an besonderen Relaisübertragungen und werden von dort über eine zentrale Relaiseinrichtung, die sogenannte Platzschaltung, dem Bedienungsteil zugeführt. Die Schaltung und der technische Aufwand der Relaisübertragungen wird von den jeweiligen Betriebsbedingungen bestimmt, die die einzelnen Anschlüsse erfüllen müssen.

B. Die Anschlüsse der Vermittlung

a) Postleitungsanschluß

Im Verkehr mit dem öffentlichen Netz werden die Postleitungen (Amtsleitungen) den Bedingungen der Fernsprechordnung entsprechend mit oder ohne Durchwahl betrieben. Verbindungen ohne Durchwahl werden im ankommenden Verkehr an der Vermittlung abgefragt und dort weitervermittelt. Der abgehende Verkehr ist vollselbsttätig. Die Amtsleitungen werden in der Regel in beiden Verkehrsrichtungen benutzt, nur große Basa haben zusätzlich abgehendgerichtete Amtsleitungen. Für die abgehende Verkehrsrichtung sind den Post-Übertragungen Sperrschaltungen zugeordnet, die die Wahl bestimmter Verkehrsbeziehungen, z. B. zu den Sonderdiensten (Toto, Kino) und in das Postfernnetz, verhindern. Postferngespräche muß der Teilnehmer bei der Vermittlung anmelden, die die Fernverbindung herstellt und dem Teilnehmer zuteilt. Der Teilnehmer kann Rückfrage halten und das Gespräch zu einem anderen Teilnehmer umlegen lassen. In Basa, deren Vermittlung nicht durchgehend besetzt ist, können einige oder alle Amtsleitungen zu Nachtnebenstellen durchgeschaltet werden.

Dem Postteilnehmer ist auch das Führen von Kettengesprächen zu mehreren Teilnehmern möglich, sofern die Vermittlung am Anfang einer Reihe von Gesprächen das Kettenkennzeichen eingetastet hat; damit wird bewirkt, daß das Amtsgespräch nach Gesprächsschluß beim Einhängen des Basa-Teilnehmers wieder auf die Vermittlung zurückfällt und erneut die Anruflampe einschaltet. Seit einigen Jahren werden auch Post-Ue mit Umlegezusatz verwendet, die ein selbsttätiges Umlegen des Amtsgespräches von Teilnehmer zu Teilnehmer gestatten. Von dieser Möglichkeit wird heute in fast allen Basa Gebrauch gemacht. In größeren Basa der Bauart VI (EMD-Basa) mit fünf und mehr Amtsleitungen werden die Amtsleitungen grundsätzlich mit Durchwahl betrieben.

Einen erheblichen Zeitaufwand erfordert die Gebührenerfassung am Vermittlungsplatz, weil er bei allen abgehenden Postferngesprächen zur Ausfertigung des Gesprächszettels und zum Aufbau der Fernverbindung in Anspruch genommen werden muß. Zu seiner Entlastung werden deshalb entsprechende Zusatzeinrichtungen, die in den letzten Jahren entwickelt wurden, — die vereinfachte und die automatische Gebührenerfassungsanlage — nach und nach in größeren Basa vorgesehen werden.

Vereinfachte Gebührenerfassungsanlage

Bei der vereinfachten Anlage werden eine oder mehrere Amtsleitungen, die nur für abgehenden Postfernverkehr bestimmt sind, mit je einem Zusatz zur Post-Ue, einem Gebührenzähler und Ziffernspeicher ausgerüstet. Dazu kommt, gemeinsam für alle Amtsleitungen, ein 13-teiliges Ziffernanzeigefeld mit Glimmlichtanzeigeröhren, das neben der gewählten Rufnummer auch die Platznummer der Post-Ue anzeigt (Bild 15). Der Speicher, bestehend aus ESK-Relaisketten, nimmt die vom Basateilnehmer gewählten Nummern auf und gibt sie nach Gesprächsschluß an das Ziffernanzeigefeld ab.

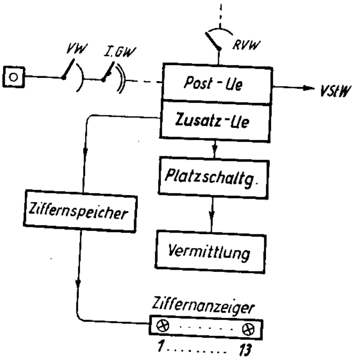


Bild 15.
Blockschaltplan einer Vereinfachten Gebührenerfassungsanlage

Beim Verkehr über diese Anlage wählt der Teilnehmer intern die für den Selbstwählferndienst (SWFD) vorgesehene Sonderkennzahl 70 und erreicht damit eine der dazugehörigen Amtsleitungen. Am Vermittlungsplatz leuchtet die Anruflampe auf. Die Beamtin notiert Name und Rufnummer des Rufenden sowie den Gebührenvermerk „dienstlich" oder „privat" und gibt die Amtsleitung frei. Die Verbindung stellt der Teilnehmer selbst her. Nach Gesprächsschluß und Aufleuchten der Zählerschlußlampe gibt der Speicher die eingespeicherten Nummern sowie die Platznummer der Post-Ue an den Ziffernanzeiger weiter, dessen Anzeigeröhren aufleuchten. Die Beamtin notiert sodann die am Gesprächszähler aufgelaufenen Gebühren und die am Anzeiger aufleuchtenden Ziffern. Aus der Platznummer kann sie die der Ziffernanzeige zugeordnete Amtsleitung erkennen. Durch Drücken der Zählerrückstelltaste wird die Amtsleitung wieder frei. Der Zusatz zur Post-Ue enthält eine Verzögerungsschaltung, die es dem Rufenden ermöglicht, bei Gassenbesetztfällen den postseitig aufgebauten Verbindungsweg auszulösen und erneut wieder aufzubauen. Mit der Wiederwahl muß innerhalb von 5 Sek. begonnen werden, andernfalls löst der interne Verbindungsweg selbsttätig aus. Diese Wiederholung der Wahl ist nur möglich, solange noch kein Gebührenimpuls eingelaufen ist.

Automatische Gebührenerfassungsanlage

Die automatische Gebührenerfassungsanlage ist insbesondere für Großnetzbasa mit starkem Postfernverkehr bestimmt. Gegenüber der „Vereinfachten Anlage“ hat hier die Vermittlung nur noch bei der Belegung der Amtsleitung kurz mitzuwirken, um im Falle von Privatgesprächen den Gebührenvermerk „privat“ einzutasten.

Einige, ausschließlich dem Postfernverkehr vorbehaltene abgehendgerichtete Amtsleitungen erhalten einen Zusatz zur Post-Ue und einen Nummern- und Zählimpulsspeicher. Dazu gehören ferner, gemeinsam für alle Amtsleitungen, die in Bild 16 dargestellten Einrichtungen. Der Vermittlungstisch erhält zusätzlich eine gemeinsame Eingabetaste (PT), mit der in Abhängigkeit von der Arbeitsstellung der Abfragetaste das Kennzeichen „privat“ in den Speicher der jeweiligen Amtsleitung gegeben werden kann. Zur Teilnehmeridentifizierung werden Magnetkernbausteine, für die Speicher Kondensatoren verwendet. Der Basateilnehmer erreicht das für den SWFD vorgesehene Postleitungsbündel durch Wahl der Kennzahl 70. Am Vermittlungsplatz leuchtet die Anruflampe auf; die Beamtin drückt die Abfragetaste und fragt nach „dienstlich“ oder „privat“. Bei dienstlichen Gesprächen stellt sie den Schalter zurück und gibt damit die Amtsleitung frei. Die Fernverbindung stellt der Teilnehmer selbst her. Im Falle „privat“ drückt sie zunächst die PT-Taste und legt dann den Schalter zurück. Damit wird ein Steuerweg vorbereitet, der nach Gesprächsschluß alle gespeicherten Informationen über den Steuersatz dem Blattschreiber für Privatgespräche zum Abdruck zuleitet. Mit der Ermittlung der Rufnummer des Teilnehmers wird sofort nach Eintreffen des ersten Zählimpulses mit Hilfe einer 16-kHz-Kennzeichenspannung begonnen.

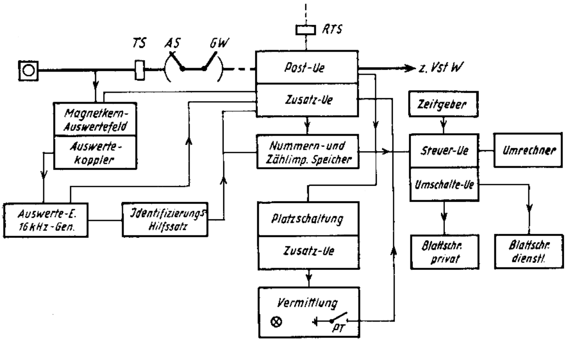

RTS
TS
AS
GW
Post-Ue
z. Vst W
Zusatz-Ue
Magnetkern-Auswertefeld
Auswerte-koppler
Zeitgeber
Nummern- und Zählimp. Speicher
Steuer-Ue
Umrechner
Umschalte-Ue
Auswerte-E. 16 kHz-Gen.
Identifizierungs-Hilfssatz
Platzschaltung
Zusatz-Ue
Blattschr. privat
Blattschr. dienstl.
Vermittlung
PT

Bild 16.
Blockschaltplan einer Automatischen Gebührenerfassungsanlage

Der Blattfernschreiber druckt folgende Informationen: Die Nummer der Post-Ue; die im Postnetz gewählten Ziffern; die Rufnummer des Basateilnehmers; die Gebühreneinheiten sowie Tag, Monat und Uhrzeit.

Auch die automatische Gebührenerfassungsanlage enthält ebenso wie die vereinfachte Anlage eine Verzögerungsschaltung, die in Gassenbesetztfällen eine Auslösung des Postverbindungsweges und nochmalige Wahl innerhalb einer Wartezeit von 5 Sekunden gestattet.

b) Auskunftsanschluß

Für Auskünfte über den Fernsprechverkehr haben alle Basa Auskunftsanschlüsse, die unter der einheitlichen Rufnummer 1111 zu erreichen sind.

Die Auskunftsanschlüsse sind mit oder ohne Weitervermittlungsmöglichkeit ausgeführt. Wird von der Abfragestelle intern weitervermittelt, so besteht Aufschaltemöglichkeit auf besetzte Teilnehmer. Mittels der Wähltaste kann der von der Abfragestelle aufgebaute Verbindungsweg wieder ausgelöst werden. Auch eine über einen Auskunftsanschluß hergestellte Verbindung wird selbsttätig von dem zuerst auflegenden Teilnehmer ausgelöst. In Hunderter- oder Tausender-Basa erhalten die Auskunft-Ue Zusätze zum Speichern von 1 bis 2 Ziffern, damit auch in solchen Basa der Anruf erst nach der Wahl der vollständigen Einheits-Rufnummer 1111 ankommt. Der Auskunftsanschluß ohne Weitervermittlungsmöglichkeit wird u. a. im Postverkehr als Postauskunftsanschluß eingesetzt. Die Postauskunft dient zur Entlastung der Vermittlung, die im Bedarfsfalle einen Amtsanruf durch Wahl einer Ziffer auf den Postauskunftsplatz umleiten kann. Nach erteilter Auskunft wird das Amtsgespräch zur Vermittlung zurückgegeben. Auch beschränktberechtigten Teilnehmergruppen, die nicht mit dem Bahnfernnetz verkehren dürfen, wird ein Auskunftsanschluß ohne Weitervermittlungsmöglichkeit zugeordnet.

c) Vermittlungsanschluß

Dieser Anschluß dient der Vermittlung zur Herstellung bestellter dringender Bahnferngespräche. Die Vermittlungsanschluß-Ue besitzt hierfür 2 Ausgänge für nur abgehenden Verbindungsaufbau. Den beiden Ausgängen können wahlweise AS (VW) oder GW zugeordnet werden. Auf dem ersten Ausgang kann der gewünschte ferne Teilnehmer, auf dem zweiten Ausgang der eigene interne Teilnehmer herangeholt werden. Mit dem Melden des zweiten Teilnehmers werden beide Teilnehmer automatisch miteinander verbunden.

d) Hinweisanschluß

Um die Anrufe bei Teilnehmern zu erfassen, die vorübergehend abwesend oder deren Rufnummern geändert worden sind, werden die betreffenden Anschlußleitungen am Hauptverteiler der Basa mit besonderen Steckern aufgetrennt und auf dafür vorgesehene Hinweisanschlüsse geschaltet. Alle Anrufe für derartig auf „Hinweis“ geschaltete Sprechstellen kommen bei der Vermittlung an und können dort abgefragt werden. In Großnetzbasa wird noch eine besondere Art von Hinweisanschlüssen vorgehalten, die an GW-Dekaden angeschaltet werden können. Mit diesen Anschlüssen können die rufenden Teilnehmer auf länger andauernde Störungen oder vorübergehende Engpässe im Großnetz sowie auf Kennzahländerungen hingewiesen werden.

e) Fernwahl-Überwachungsanschluß

Über diese Anschlüsse kann die Vermittlung in bestimmte belegte Bahn-Fernleitungen eintreten und die Teilnehmer zum Einhängen auffordern, sofern die Leitung für eine dringendere Verbindung benötigt wird. Notfalls kann die Verbindung auch getrennt werden. Aus jedem Leitungsbündel werden im allgemeinen nur ein bis zwei Leitungen an Überwachungsanschlüsse geschaltet. Die Belegtlampe eines Anschlusses wird als Bündelbelegtlampe ausgenützt, so daß sich die Beamtin am Vermittlungsplatz schnell einen Überblick über die Verkehrslage auf den wichtigsten Bündeln verschaffen kann.

f) Dienstanschluß

Der Relaisteil dieses Anschlusses ist in der Platzschaltung untergebracht. Er ist nur einmal je Vermittlungsplatz vorhanden und dient seinem abgehenden Bahnfernsprechverkehr.

g) Unfallanschluß

Bei einer Betriebsstörung (Unfall) auf der freien Strecke muß rasch eine unmittelbare Sprechverbindung zwischen der Unfallstelle und einer bestimmten, Weisung gebenden Stelle hergestellt werden können. Hierfür werden bei den verkabelten Strecken besondere „Fernsprechbezirksverbindungen für den Unfallnachrichtendienst“ (Fbu-Verbindungen) vorgesehen, die an einem oder an beiden der in Basa eingeführten Enden an besondere Unfall-Umschalteeinrichtungen angeschlossen sind. Der Umschalteeinrichtung sind ein bis zwei Unfallanschlüsse (OB-Ue) zugeordnet, über die die Vermittlung Orts- oder Fernverbindungen herstellen kann.

An die Fbu-Verbindungen können beliebige, an der Strecke liegende Betriebsstellen (Bahnhöfe, Stellwerke, Wärterposten) mittels OB-Fernsprecher angeschlossen werden. An Strecken mit Freileitungen werden besonders gekennzeichnete Leitungen, die normalerweise dem vollselbsttätigen Fernverkehr dienen, für den Unfallnachrichtendienst mitbenutzt.

h) OB-Fern- und Bezirksleitungs-Anschluß

Beiden Leitungsarten ist gemeinsam, daß der ankommende Verkehr in der Vermittlung weitervermittelt werden muß. Abgehend werden die Leitungen angewählt. Nach der Belegung gibt die OB-Fern-Ue selbsttätig einen 25-Hz-Ruf ab. Bei den OB-Bezirksleitungen, an die viele OB-Sprechstellen parallel angeschlossen sind, muß nach Wahl der Kennzahl noch das Rufzeichen (Morsezeichen) der gewünschten Sprechstelle gesendet werden. Gemorst wird mit der Wählscheibe (Strich = Ziffer 9;

Punkt = Ziffer 2). Die Stromstoßreihen werden in der OB-Bezirks-Ue in Rufzeichen (Morsezeichen) umgesetzt. In umgekehrter Verkehrsrichtung müssen die Außenstellen ebenfalls ein bestimmtes Rufzeichen geben, um die Vermittlung zu erreichen. Für den ankommenden Verkehr wird der OB-Bezirks-Ue ein Rufausscheider zugeordnet, der von allen eintreffenden Rufzeichen nur das für die Vermittlung bestimmte als Anruf weitergibt. Der Rufausscheider kann außer dem Einzelruf auch noch weitere Rufzeichen, z. B. einen Sammelruf und einen Dringlichkeitsruf (Unfallruf), auswerten.

i) Teilnehmer-Nachtanschluß

Um bestimmte Teilnehmer, die nachts in ihrer Wohnung erreichbar sein müssen, vor Fehlanrufen oder böswilligen Anrufen zu schützen, werden die Anschlußleitungen dieser Teilnehmer über besondere Teilnehmer-Nachtanschlüsse an den Vermittlungsplatz geführt. Die Nachtanschlüsse sind tagsüber zur Basa durchgeschaltet und werden nachts durch Betätigen eines Schalters dem Vermittlungsplatz zugeordnet. Während nachts der von der Sprechstelle abgehende Verkehr selbsttätig abgewickelt wird, laufen ankommende Anrufe am Vermittlungsplatz ein, werden dort abgefragt und durchverbunden. Eine Belegtlampe zeigt den Besetztzustand des Anschlusses an.

k) Vielfachschaltung, Konzentrationsschaltung

In großen Basa mit mehreren Vermittlungsplätzen werden die Amtsleitungen, Auskunftsanschlüsse und OB-Fernleitungen auf je zwei Vermittlungstische in Vielfachschaltung gelegt. Die Anruflampen leuchten auf beiden Tischen gleichzeitig und der Platz, der zuerst abfragt, übernimmt die Weitervermittlung. In verkehrsschwachen Zeiten wird die Bedienung mehrerer Plätze durch eine Konzentrationsschaltung auf einen Hauptarbeitsplatz zusammengezogen. Sobald an den Nebenarbeitsplätzen die steckbaren Sprechhörer aus ihren Buchsen gezogen werden, können vom Hauptplatz aus alle Anrufe, die auf den benachbarten Nebenarbeitsplätzen ankommen, bedient werden.

C. Die Entstörungsstelle

Unter der einheitlichen Rufnummer 1000 kann in jeder Basa die Entstörungsstelle erreicht werden. Für diese Stelle wird in kleinen Basa ein Einzelanschluß vorgesehen. Die Basa am Sitz der BD'en, die Bezirksnetz-Knotenbasa und wichtige größere Endbasa haben hauptamtlich besetzte Entstörungsstellen, die im wesentlichen den Meß- und Prüfdienst und die Störungsbeseitigung wahrzunehmen sowie Schaltaufträge auszuführen haben.

Die großen Entstörungsstellen sind hierfür mit besonderen Fernsprecheinrichtungen ausgerüstet. Sie bestehen bei Basa mit großer räumlicher Ausdehnung aus mehreren, an eine Relaisübertragung angeschlossenen Entstörungsstellenfernsprechern für drei Anschlüsse und einem den Anschlüssen vorgeschalteten Abfragefernsprecher sowie aus einer Wechselsprech-Lautsprecher-Anlage (WL-Anlage). In weniger ausgedehnten Basa entfällt die WL-Anlage und der Abfragefernsprecher.

6. Prüf- und Meßeinrichtungen

Zum Prüfen und Messen der Übertragungswege und Wählereinrichtungen werden in den Basa der DB im wesentlichen die gleichen Einrichtungen wie im öffentlichen Fernsprechnetz verwendet. Die automatischen Meßeinrichtungen, die eine maschinelle Auswertung der Meßergebnisse ermöglichen, wie z. B. die Verkehrsablaufmeßeinrichtung (VAM) und die Betriebsgütemeßeinrichtung (BME), werden z. Z. erprobt. Die Messungen mit der VAM sollen über den nach Zielrichtungen aufgeschlüsselten Verkehrsablauf im Netz der DB Aufschluß geben. Die BME wird als Prüfgerät eingesetzt, das bei automatisch ablaufenden Probeverbindungen Betriebsbeobachtungen durchführt und dabei Störungen und Hemmungen registriert.

Zwei automatische Prüfeinrichtungen, die für die DB entwickelt wurden und ihren festen Platz im DB-Netz gefunden haben, sind die Fernwahl-Prüfeinrichtung und das Kabelüberwachungsgerät.

A. Fernwahlprüfeinrichtung (FPE)

Die FPE ist eine Prüfeinrichtung für ortsfesten Einbau, die automatisch in stetiger Folge Fernleitungen überprüft. Sie wird in der Regel in Bezirksnetzknoten- und in BD-Basa eingesetzt. Die Leitungen können zwei- oder vierdrähtig sein. Geprüft werden im Gegenverkehr mit „automatischen Teilnehmern“ die Stromfähigkeit der Leitung, die ordnungsmäßige Durchgabe der Schaltkennzeichen und die Leitungsdämpfung. In die Prüfung ist die Fernwahl-Ue der Ausgangsbasa, der Übertragungsweg, die Ue der Gegenbasa und der dieser Ue zugeordnete FGW (FLW) einbezogen. An eine FPE können bis zu 100 Leitungen angeschlossen werden. Die einzelnen Bauteile der Einrichtung, wie Relaissätze, Prüfwähler, Meßfeld und Verstärker, sind zusammen in einem Gestellrahmen von 460 mm Baubreite untergebracht. Die FPE wird in der Nähe des Zwischenverteilers aufgestellt und mit den zu überprüfenden Ue bzw. den der Ue vorgeordneten GW festverdrahtet.

Die Prinzipschaltung der FPE zeigt Bild 17. Sie läßt erkennen, daß die Sprechadern der zu prüfenden Leitungen parallel an die FPE angeschlossen, die Prüfadern dagegen eingeschleift werden. Die einzelnen Leitungen können von Hand oder selbsttätig in zwei jeweils einstellbaren Abständen von 10 oder 60 Sekunden mit oder ohne Wartezeit im Besetztfall geprüft werden. Bei selbsttätiger Prüfung „ohne Wartezeit“ wird der Prüfwähler alle 10 bzw. 60 Sekunden einen Schritt weitergeschaltet. Dabei besetzt gefundene Leitungen werden überlaufen, also nicht geprüft. Bei der „Prüfung mit Wartezeit“ wartet der Prüfwähler bis zu 60 Sekunden auf das Freiwerden besetzter Leitungen. Sobald die Leitung frei ist, wird die Ue vom Prüfwähler belegt und ein Belegungsimpuls zur Gegen-Ue übertragen und damit auch der FGW belegt. Anschließend sendet die FPE eine Impulsserie, mit der in der Gegenbasa über den FGW der automatische Teilnehmer angesteuert wird. Der automatische Teilnehmer sendet nun seinerseits einen Rückimpuls und legt anschließend einen Prüfton (800 Hz, Pegel 0) auf die Leitung, der im Empfänger der FPE aufgenommen und ausgewertet wird. Etwa

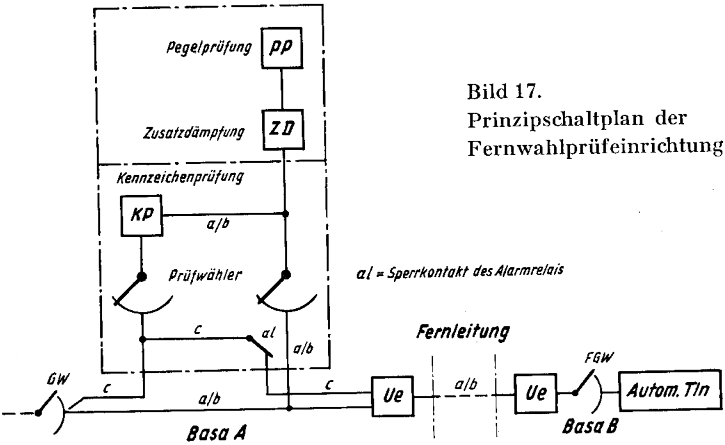


Bild 17.
Prinzipschaltplan der
Fernwahlprüfeinrichtung

1500 ms nach dem Rückimpuls sendet der automatische Teilnehmer den Auslöseimpuls. Die Verbindung löst aus. Die FPE gibt ein akustisches und optisches Alarmsignal, wenn der Rückimpuls oder der Auslöseimpuls ausbleibt oder der Sollpegel am Empfänger der FPE (− 2 ± 0,3 Np) über- oder unterschritten wird. Die Restdämpfung jeder Leitung wird während des Prüfvorganges durch Hinzuschalten eines jeweils der Leitung fest zugeordneten Dämpfungsgliedes auf 2 Np ergänzt. Gleichzeitig mit der Abgabe des Alarmsignals wird die Ue in der Ausgangsbasa durch Öffnen der c-Ader für abgehende Belegung gesperrt. Bei den weiteren Prüfumläufen wird die als gestört gekennzeichnete Verbindung zunächst wieder entsperrt, dann erneut geprüft und, falls die Störung noch besteht, wieder gesperrt. Freie Ausgänge des Prüfwählers werden überlaufen, sofern sie zusammenhängend am Schluß des Wählerkontaktkranzes liegen. Falsche Pegel und fehlerhafte Zeichengabe, sowie die Anzahl der Prüfungen und der Prüfumläufe werden rein zahlenmäßig von elektromechanischen Zählern erfaßt.

B. Kabel-Überwachungsgerät

Das umfangreiche Fernkabelnetz der DB erfordert eine laufende Überwachung des Kabel-Isolationszustandes, um Fehler rasch erkennen und beseitigen zu können. Die DB verwendet hierfür das Isolationswiderstands-Überwachungsverfahren, weil andere Verfahren, z. B. die bei der DBP eingeführte Druckgastechnik, bei den Fernmeldekabeln der DB wegen der vielen Stichkabeleinführungen einen zu hohen Aufwand erfordern würden.

Das Überwachungsgerät tastet mit Hilfe eines Motorwählers in einer Schrittfolge von etwa 30 Sekunden die zu prüfenden Kabeladern nacheinander ab und mißt den Isolationswiderstand in einer mit Gleichstrom betriebenen Brückenschaltung. Für jeden Leiter ist individuell ein Isolations-Sollwert einstellbar, bei dessen Unterschreitung um 5 bis 10 v. H., unabhängig von Länge und Kapazität des Leiters, eine Fehleranzeige ausgelöst wird. Der Isolationssollwert kann für jede Kabelader in 10 Stufen von 5 . . . 200 MOhm eingestellt werden.

Bei Alarmgabe wird die Fortschaltungsautomatik selbsttätig abgeschaltet. Neben der automatischen Messung ist auch eine Messung von Hand möglich, deren Ergebnis an einem Röhrenvoltmeter im Bereich von 10 kOhm bis 1000 MOhm abgelesen werden kann. Jeder Leiter kann beliebig lange gemessen werden, um auch zeitweise auftretende Isolationsfehler entdecken zu können. Anwahltasten gestatten außerdem, jeden angeschlossenen Leiter zu beliebiger Zeit der Meßanordnung zuzuordnen. Zwei Ziffernanzeigeröhren zeigen die Kabelader an, die gerade an die Meßanordnung angeschaltet ist. Die automatische Isolationsüberwachung wird von Fremdspannungen, die z. B. auf Kabeln an elektrifizierten Strecken zwischen Meßader und Kabelmantel Werte bis zu 200 V annehmen können, nicht beeinflußt.

Das Gerät ist in genormter Relaisschienenbauweise ausgeführt und besteht aus einem Steuer- und Meßeinsatz, einer Vollnetzstromversorgung und, je nach Zahl der zu prüfenden Kabeladern, aus ein bis drei 30teiligen Zusatzschienen. Insgesamt können 90 Kabeladern mit dem Gerät überprüft werden. Alle Teile sind in einem Schrank der Bauweise 52 (Gestellhöhe 1,5 m) untergebracht (Bild 18).

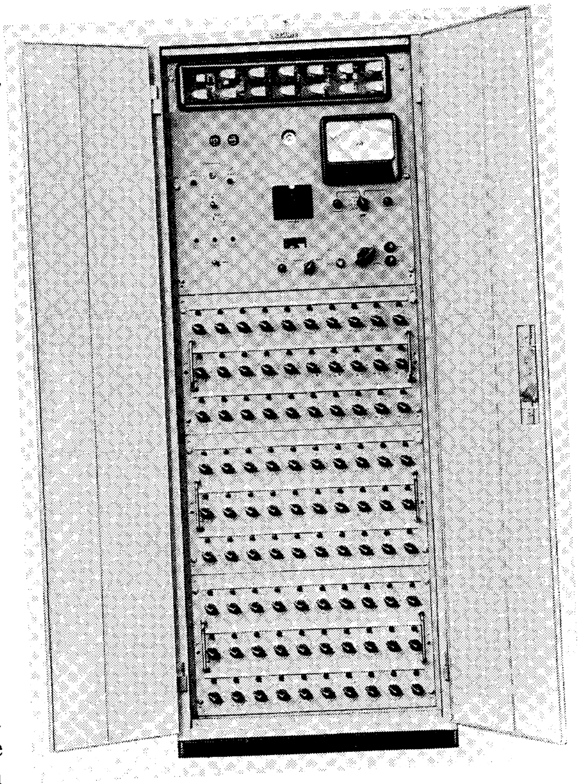


Bild 18. Ansicht des Isolationswiderstands-Überwachungsgerätes (Werkphoto W. Quante)

7. Stromversorgung

A. Gleichrichter

Für die Stromversorgung von Basa wurden in den letzten Jahren nur noch geregelte Gleichrichtergeräte, und zwar solche für Bereitschaftsparallelbetrieb in den Nennstromstärken von 1,5-3-6-9-12 A und solche für Umschaltebetrieb von 12-25-50-100 und 200 A verwendet.

Den Gleichrichtern für Bereitschaftsparallelbetrieb werden 30zellige Batterien (60-V-Nennspannung) zugeordnet, während für die Gleichrichter für Umschaltebetrieb 32zellige Batterien (64-V-Nennspannung) aufgestellt werden. Aus Sicherheitsgründen sind die größeren Basa mit zwei parallelgeschalteten Gleichrichtergeräten gleicher Nennstromstärke ausgerüstet. Eine in die Geräte eingebaute Zuschalteeinrichtung sorgt für lastabhängiges Zu- und Abschalten des zweiten Gerätes. Die Meldeeinrichtung jedes Gerätes zeigt optisch und akustisch Netzausfälle, Phasenausfall, Ausfall einer Gleichstromsicherung bzw. Auslösen eines Selbstschalters und Abweichungen der Verbraucherspannungen unter 58,5 V und über 66 V an.

B. Netzersatzeinrichtungen

Alle BD-Basa sowie besonders wichtige Knotenbasa erhalten Netzersatzgeräte, die bei Netzausfall die Stromversorgungsanlage speisen müssen. Alle übrigen größeren Basa sind für den Anschluß eines fahr- oder tragbaren Netzaggregates vorbereitet. Für den Betrieb netzgespeister wichtiger Fernmeldeeinrichtungen sind zusätzlich Netzersatzumformer, die aus der Basabatterie betrieben werden, vorgesehen. Das gilt insbesondere auch für die Zwischenverstärkeranlagen der Großnetzverbindungen.

C. Batterien

End- und Knotenbasa, die mit einer Batteriekapazität bis zu 288 Ah (zehnstündig) auskommen, erhalten grundsätzlich nur eine Batterie. Bei größeren Basa wird aus Sicherheitsgründen die Batterie in zwei Hälften unterteilt. Diese Basa können dann bei Netzausfall und gleichzeitigem Fehler in einer Batteriezelle aus der unversehrten Batteriehälfte weiter betrieben werden. Die Batterien werden so groß gehalten, daß sie bei Netzausfall einen 24stündigen Tagesstrombedarf decken können. Nur 32zellige Batterien in Basa mit festeingebautem Netzersatzaggregat werden für eine 6stündige Batteriereserve bemessen. Dort, wo bei Netzausfall kein festeingebautes Netzersatzaggregat zur Verfügung steht, aber ein tragbares Gerät kurzfristig beigestellt werden kann, werden Batterien mit 12stündiger Batteriereserve vorgesehen.

8. Räumliche Unterbringung

Die Basa werden, von Kleinanlagen abgesehen, in abgeschlossenen Fernmeldebetriebsräumen untergebracht, die je nach Größe der Basa in Räume für die Wähleranlage, Kabelabschlußgestelle, Batterien, Stromversorgungs- und Netzersatzanlage, ferner für die halbselbsttätige Vermittlung sowie für den Unterhaltungsdienst aufgeteilt sind. Die Raumhöhe beträgt in der Regel 3,20 m. Der Hauptverteiler ist in größeren Basa durch eine Glaswand von der übrigen Wähleranlage abgetrennt. In den Hauptverteiler-Raum werden nötigenfalls auch die Stromversorgungsgleichrichter und die Kabelschränke eingebaut, falls für diese Einrichtungen keine eigenen Räume zur Verfügung stehen.

Innerhalb der Wähleranlage bilden der Orts- und Fernteil eine Einheit. Die einzelnen Gestelle werden so angeordnet, daß die beste schaltungstechnische Zusammengehörigkeit gewahrt ist. Die NF-Verstärker werden z. B. mit den Fernwahl-Ue fest verdrahtet und in oder neben den Fernwahl-Ue-Gestellen untergebracht. Für die Trägerfrequenzgeräte sind besondere Gestellreihen, u. U. räumlich von der übrigen Anlage getrennt, vorgesehen. Im übrigen werden die Wählereinrichtungen so aufgestellt, daß sich die wirtschaftlichste Verkabelung und eine möglichst günstige Wartung und Überwachung der Anlage (kürzeste Wege für das Wartungspersonal) ergeben. Die einzelnen Räume werden in der Regel mit Luftbefeuchtungsgeräten ausgestattet. Vollautomatische Klimaanlagen erhalten nur die Basa, die in geschützten Räumen untergebracht sind.

9. Fahrbare Basa

Um bei unvorhergesehenen Ausfällen, insbesondere größerer Basa, den Fernsprechbetrieb schnellstens wieder aufnehmen zu können, werden fahrbare Basa in Kraftfahrzeugen bereitgehalten. Die älteste Anlage dieser Art stammt aus dem Jahre 1936. Sie ist in Hebdrehwählertechnik (Bauart V) für rd. 170 Teilnehmeranschlüsse, 10 Amtsleitungen, 35 Fern- und Bezirksleitungen und einer zweiplätzigen halbselbsttätigen Vermittlung ausgeführt. Die technischen Einrichtungen sind in 2 zweiachsigen Anhängerfahrzeugen untergebracht. Im Anhänger 1 befindet sich der Wählerteil mit der Abfragestelle, im Anhänger 2 die Stromversorgung, bestehend aus 60- und 24-Volt-Batterien, Ladegleichrichtern, Verstärkerstromversorgung und Notstrom-Dieselaggregat. Nach 1960 wurden weitere fahrbare Basa in EMD-Technik in zwei verschiedenen Baugrößen, (FK) für Bezirksnetz-Knotenbasa und (FG) für Großnetzbasa, gebaut. Die technischen Einrichtungen sind in Sattelanhängern (Abmessungen: Länge 11,8 m, Höhe 3,55 m, Breite 2,5 m) mit Doppelachsaggregat mit lenkbaren Einzelachsen untergebracht (Bild 19).

DEUTSCHE BUNDESBAHN
DB

Bild 19. Zugmaschine und Sattelauflieger der fahrbaren EMD-Basa

A. Bezirksnetz-Knotenbasa

Bei der Baugröße FK, einer Bezirksnetz-Knotenbasa für 270 Teilnehmeranschlüsse, 13 Amtsleitungen, 76 Fernleitungen für Induktiv-

und systemeigene Wahl sowie 20 Bezirksleitungen, sind alle Einrichtungen in einem einzigen Sattelanhänger eingebaut. Für den Einsatz als Knotenbasa sind 54 EMD-Umsteuerwähler vorgesehen. Zum Anschluß trägerfrequenter Verbindungswege dienen zwei TF-Geräte MVZ 12 mit Vollnetzstromversorgung in 1,5 m hohen Kleingestellen. Jedes Endgestell ist voll mit Endschaltungen bestückt und enthält zusätzlich fünf OB-Rufsätze, um einige Kanäle im Bedarfsfalle auf OB-Betrieb umschalten zu können. In einem besonderen Schrank sind 48 Leitungsübertrager sowie einige TF- und Breitband-Übertrager untergebracht. Zur Bedienung der halbselbsttätigen Anschlüsse wird ein Bedienungsfernsprecher mit 118 Tasten mitgeführt, der am Einsatzort außerhalb der fahrbaren Basa aufgestellt werden muß. Die Stromversorgungsanlage besteht aus zwei Trockengleichrichtern für Umschaltebetrieb und einer Verbundbatterie (32 Zellen, 240 Ah) mit Panzerspezialplatten. Die Verbundbatterie und die dazugehörige Sicherungstafel sind in zwei unterhalb des Wagenkastenaufbaues liegenden Gerätekästen eingebaut. Die Anordnung der Gestelle und Geräte ist aus dem Aufstellungsplan Bild 20 zu ersehen. Die Höhe der Wählergestelle beträgt 1865 mm.

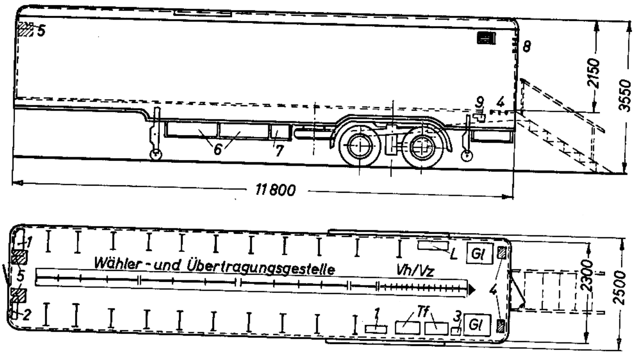


Bild 20. Abmessungen des Sattelaufliegers und Gestellanordnung der fahrbaren Bezirksnetz-Knotenbasa

1 = Vorratsschränke
2 = Klapptisch
3 = Netztafel
4 = Kabeleinführungen im Fußboden
5 = Belüfter
6 = Batteriekästen

7 = Batteriesicherungstafel und Werkzeugkasten
8 = Kabeleinführungen in Rückwand
9 = Steckdose für Netzzuführung
L = Leitungsübertrager-Schrank
Tf = Trägerfrequenzgeräte
Gl = Gleichrichter

Alle Schaltglieder sind zum Hauptverteiler geführt und können dort je nach Bedarf beliebig miteinander verbunden werden. Zur Einführung der Außenleitungen sind an der hinteren Stirnseite des Wagenkastens unten und oben insgesamt vier verschließbare Öffnungen vorhanden. An der vorderen Stirnwand des Wagenkastens sind zwei Elektrobelüfter befestigt, deren Luftstrom auf die beiden Bedienungsgänge links und rechts der Mittelgestellreihe gerichtet ist.

Vor den Öffnungen dieser Belüfter sind von außen zugängliche, auswechselbare Staubfilter angebracht. Am hinteren Wagenende befinden sich zwei ebenfalls mit auswechselbaren Staubfiltern versehene Kiemenentlüfteröffnungen. Der Wagen kann mit acht einzeln einschaltbaren, an den Längswänden befestigten elektrischen Sicherheits-Strahlungsheizkörpern beheizt werden. Zum Schutz gegen Brandgefahr befinden sich im Wageninnern einige Ionisationsfeuermelder, die bereits bei schwacher Rauchentwicklung über ein einfaches Meldegerät Alarm an die außerhalb des Sattelanhängers aufgestellte, dauernd besetzte halbselbsttätige Vermittlung geben. Der Gestellaufbau ist besonders sorgfältig ausgeführt. Die Mittelgestellreihe und die seitlichen Gestellrahmen sind mit Schwingmetall-U-Schienen am Boden befestigt. Oben sind alle Gestelle starr miteinander verbunden und ebenfalls über Schwingmetallschienen an einer im Wageninnern umlaufenden Winkelschiene angeschraubt.

B. Großnetzbasa

Die Basa der Baugröße FG (Fahrbare Großnetzend- und Großnetz-Knotenbasa) ist wegen der Vielzahl der Schaltglieder und Geräteeinheiten in drei Sattelanhängern mit gleicher wagen- und starkstromtechnischer Ausrüstung wie beim Typ FK untergebracht. Im Anhänger 1 sind die Stromversorgungsgleichrichter, die Wählereinrichtungen für den Internverkehr von 520 Teilnehmeranschlüssen einschließlich 18 Amtsleitungen, die Anschlußübertragungen für Bezirksleitungen und Kleinbasa, ferner, in Kästen verpackt, drei gleichausgerüstete Bedienungsfernsprecher für die halbselbsttätige Vermittlung enthalten. Im Anhänger 2 sind die Wählereinrichtungen für den Fernverkehr einer Großnetzendbasa sowie 3 TF-Endstellen MVZ 12 eingebaut. Der Anhänger 3 enthält schließlich die Schaltglieder für den Großnetzknotenverkehr einschließlich 8 TF-Endstellen MVZ 12. Insgesamt können 120 Fernwahlleitungen an die Großnetzbasa angeschlossen werden. Jeder Wagen besitzt eine 32zellige Basabatterie, die in Parallelschaltung von den Gleichrichtern des Anhängers 1 geladen werden. Da jeder der Sattelanhänger nur einen bestimmten Teil der Gesamtanlage enthält, müssen im Bedarfsfalle meist zwei, u. U. auch alle drei Anhänger eingesetzt werden. Auch das Zusammenschalten mehrerer Wagen gleichen Typs ist vorgesehen.

Um mehrere Teilanlagen (Wagen) zu einer Gesamtanlage zusammenzufassen, müssen grundsätzlich die Dekaden 1 bis 9 der I. GW-Stufe, ferner die Signaladern, die Fernwahl-Überwachungsanschlüsse und die Batterien parallel geschaltet werden.

Für diese stets gleichbleibenden Schaltarbeiten werden steckbare Fernsprech-Parallelkabel und klemmbare Batterie-Parallelkabel vorgehalten. Alle übrigen Leitungen müssen bis zum Zwischenverteiler bzw. Kabelendgestell geführt und dort aufgelötet werden. Für den Netzanschluß (220/380-V-Drehstrom) ist eine vierpolige Unterflur-Kraftsteckvorrichtung bestimmt.

V. Zusammenfassung

Das Fernnetz der DB ist im Grundaufbau sternförmig aufgebaut und teilweise weitgehend vermascht. Es ist den Direktionsbezirken entsprechend in 16 Bezirksnetzgruppen aufgeteilt, die an ihren Netzgruppenmittelpunkten, den Basa am Sitz der Direktionen, Zugang zur obersten Netzebene, dem Großnetz, haben. Das Großnetz ist sternförmig um 3 vollvermaschte Knoten gruppiert.

Das Kennzahlsystem des Fernnetzes ist zweistufig. Die erste Stufe umfaßt das Bezirksnetz, die zweite Stufe das Großnetz. Die Kennzahlen sind in beiden Stufen einheitlich dreistellig.

Die Übertragungswege sind an den wichtigsten Strecken überwiegend aus pupinisierten Kabelleitungen gebildet. Die trägerfrequenten Verbindungswege werden jedoch in absehbarer Zeit den Hauptbestandteil des Fernnetzes bilden. Mit der Verlegung längerer Kabelstrecken mit Kleinkoaxialpaaren wurden die Voraussetzungen für den Einsatz von Vielkanalsystemen (V 300 und V 120) geschaffen. Ein modernes 7-GHz-Richtfunknetz ist zur Zeit im Aufbau. In den Großnetzknotenbasa werden die Fernverbindungen vierdrähtig durchgeschaltet. Der vierdrähtige Ausbau weiterer Großnetzbasa wird fortgesetzt. Die meistverwendete Wahlart auf den NF-Verbindungswegen ist die Induktivwahl, auf Leitungen mit NF-Zwischenverstärkern die 600 Hz-Tonwahl. TF-Verbindungswege werden, sofern es das TF-System zuläßt, mit systemeigener Wahl betrieben. Neuerdings werden verbesserte Wahlsysteme, so die 2280 Hz-Tonwahl mit Belegungsquittung und die für volltransistorisierte TF-Systeme geeignete systemeigene Wahl mit Einzelkanal-Überwachung eingesetzt.

In den Bahnselbstanschlußanlagen (Basa) sind die Systembedingungen der Nebenstellen- und der Fernverkehrstechnik vereinigt. Alle größeren Basa sind nach dem dekadischen Direktwahlprinzip, die älteren mit Hebdrehwählern (Bauart V), die neueren mit EMD-Wählern (Bauart VI) aufgebaut. Abweichend hiervon werden bei den kleinen Basa Relais- oder Drehwähler, bei den mittleren Basa Koordinatenschalter oder ESK-Koppler verwendet.

Die halbselbsttätigen Vermittlungen (Abfragestellen) sind je nach Größe der Basa mit einem einfachen Abfragefernsprecher oder mit einem für eine größere Zahl von Anschlüssen ausgebauten Bedienungsfernsprecher bzw. mit beliebig ausbaufähigen Vermittlungstischen ausgestattet.

Automatische Überwachungs- und neuzeitliche Meßeinrichtungen sorgen zusammen mit einem Stab gut geschulter, verantwortungsfreudiger Fachkräfte dafür, daß das im Basanetz bisher erreichte hohe Maß an Betriebsgüte und Betriebssicherheit erhalten bleibt und ständig verbessert wird.

VI. Abkürzungen

Zum besseren Verständnis für den mit der Materie nicht Vertrauten sind die im Text und im Bildmaterial benutzten, bei der Deutschen Bundesbahn laufend angewendeten Abkürzungen in einer alphabetisch geordneten Übersicht zusammengestellt:

AS = Anrufsucher
Basa = Bahnselbstanschlußanlage
BD = Bundesbahndirektion
BME = Betriebsgütemeßeinrichtung
BSt = Bahnstelle (nichtpostberechtigter Teilnehmeranschluß)

DB = Deutsche Bundesbahn
DBP = Deutsche Bundespost
Eb = Eisenbahnbauart
EB = Endbasa
EBD = Empfangsbezugsdämpfung
EMD-Wähler = Edelmetall-Motordreh-Wähler
ES = Einstellsatz
ESK = Edelmetall-Schnellkontakt
Fbu = Fernsprechbezirksverbindung für den Unfallnachrichtendienst
Ff = Fernsprechfernverbindung
FG = Fahrbare Großnetzbasa
FGW = Ferngruppenwähler
Fh = Fernsprechhauptverbindung
FhN = Fernsprechhauptverbindung für Großnetz-Nachbarverkehr
FK = Fahrbare Bezirksnetz-Knotenbasa
FLW = Fernleitungswähler
Fn = Fernsprechnahverbindung
FPE = Fernwahlprüfeinrichtung
GEB = Großnetz-Endbasa
Gl = Gleichrichter
GKB = Großnetz-Knotenbasa
GW = Gruppenwähler
IW = Impulswiederholer
KB = Knotenbasa (eines BD-Bezirkes)
K-Ue = Kupplungs-Übertragung
Kx = Koaxial
LV = Leitungsverlängerung
LW = Leitungswähler
MW = Mischwähler
MFspr = Mehrfachfernsprecher
NSt = Nebenstelle (postberechtigter Teilnehmeranschluß)
OB = Ortsbatterie
PGW = Postgruppenwähler
PT = Eingabetaste (Privat-Taste)
Ql = Querleitung
RA = Rufausscheider
RSM = Ruf- und Signalmaschine
RTS = Rückfrage-Teilnehmerschaltung
RW = Richtungswähler
SBD = Sendebezugsdämpfung
SE = Signalempfänger
Tln = Teilnehmer
TS = Teilnehmerschaltung
UB = Unterbasa
Ue = Übertragung
UW = Umsteuerwähler
VAM = Verkehrsablaufmeßeinrichtung

VAZ = Verkehrsausscheidungsziffer
Vh = Hauptverteiler
Vm = Vermittlung
VStW = Vermittlungsstelle für Wählverkehr der DBP
VW = Vorwähler
Vz = Zwischenverteiler
WL = Wechselsprech-Lautsprecher
ZV = Zwischenverstärker

VII. Schrifttum

1. Gruber, H.: 50 Jahre Fernmeldetechnik bei der Deutschen Bundesbahn. Signal und Draht, 50 (1958), 11/12.
2. Schmitz, W.: Entwicklungstendenzen der Signal- und Fernmeldetechnik bei der Deutschen Bundesbahn. Signal und Draht, 50 (1958), 11/12.
3. Oberarzbacher, M.: Überblick über die Technik der Bahnselbstanschlußanlagen. Siemens-Zeitschrift, 34 (1960), 3.
4. Rüffler, D.: Selbsttätige Gebührenerfassung und -abrechnung für Landesfernwahlgespräche in der Fernsprechwählanlage einer Bundesbahndirektion. Signal und Draht, 54 (1962), 3.
5. Woller, H.: Schaltertechnik in Eisenbahn-Fernsprechnetzen. Signal und Draht, 54 (1962), 4.
6. Oberarzbacher, M.: Fernsprechanlagen für die Verwaltung und den Betrieb von Eisenbahnen. Signal und Draht, 54 (1962), 5.
7. Schmitz, W.: Das Signal- und Fernmeldewesen sowie die Nachrichtenverarbeitung der DB seit 1945. Signal und Draht, 54 (1962), 6.
8. Leitenberger, W. und Salzmann, W.: Automatische Überwachung des Isolationswiderstandes von Fernmeldekabeln. Signal und Draht, 54 (1962), 9.
9. Schulz, W.: Ein Trägersystem mit 300 Fernsprechkanälen auf Kleinkoaxialpaaren in Fernmeldekabeln der DB. Signal und Draht, 56 (1964), 1.

Klaus Spindler
Hans Schuhmann

Die mittlere Wartezeit auf Einrichtung von Fernsprechhauptanschlüssen in Abhängigkeit von Angebot und Nachfrage

I. Das Wirtschaftsgut „Fernsprechanschluß“ — eine Immobilie
II. Was versteht man unter einem „Fernsprechanschluß“?
  1. Der Fernsprechhauptanschluß
  2. Der Fernsprechnebenanschluß
  3. Andere Fernsprechanschlüsse
  4. Das Verhältnis der Zahl der Fernsprechstellen zu der Zahl der Fernsprechhauptanschlüsse
III. Die Begriffe „Angebot“ und „Nachfrage“ im Zusammenhang mit dem Wirtschaftsgut Fernsprechhauptanschluß und dem Fernmeldenetz
  1. Definition der Nachfrage
  2. Definition des Angebotes
  3. Die Abhängigkeit des Angebotes von der Nachfrage im Zusammenhang mit einigen wichtigen Strukturmerkmalen des Fernmeldenetzes
    A. Die „Herstellungszeit“ und die „Einrichtungszeit“ für Hauptanschlüsse
    B. Die optimalen Zeitabschnitte beim Ausbau des Fernmeldenetzes
    C. Vorrat und Ausnutzungsgrad im Fernmeldenetz
    D. Die Abhängigkeit des Angebotes von der Nachfrage für Hauptanschlüsse
  4. Die Zahl der unerledigten Anträge auf Einrichtung von Fernsprechhauptanschlüssen in Abhängigkeit von Angebot und Nachfrage
IV. Die mittlere Wartezeit
  1. Was ist die mittlere Wartezeit in der Theorie?
  2. Verlauf der mittleren Wartezeit von 1950 bis 1966
  3. Die funktionalen Zusammenhänge von Angebot, Nachfrage, Bestand an unerledigten Anträgen und mittlerer Wartezeit und die Berechnung langfristiger Trends für die Zeit von 1950 bis 1966
V. Analyse der Zeitreihen für charakteristische Zeitabschnitte und Prognosebetrachtungen
  1. 1950 bis Mitte 1952
  2. Mitte 1952 bis Mitte 1956
  3. Mitte 1956 bis Mitte 1961
  4. Mitte 1961 bis Ende 1966
  5. Prognose für 1967 und 1968
  6. Prognosen mit dem Ziel, eine bestimmte mittlere Wartezeit zu erreichen
  7. Die Angebotsfunktion in Abhängigkeit von einer vorgegebenen Mittleren-Wartezeit-Funktion
  8. Die saisonabhängige Nachfrageprognose für 1967 und 1968
VI. Die Häufigkeitsverteilung der Lagerzeiten und die mittlere Lagerzeit der unerledigten Anträge
  1. Die Stichprobenerhebung im Jahre 1965
  2. Die Gesetzmäßigkeiten der Häufigkeitsverteilung
  3. Die mittleren Lagerzeiten im Jahre 1965
VII. Die Häufigkeitsverteilung der Wartezeiten und die mittlere Wartezeit der erledigten Anträge
  1. Einzelheiten der Erhebung nach dem Klumpen-Auswahlverfahren
  2. Die Saisonabhängigkeit der mittleren Wartezeit

3. Die Häufigkeitsverteilung der Wartezeiten der erledigten Anträge
4. Die Abhängigkeit der mittleren Wartezeit von der Ortsnetzgröße und der Siedlungsstruktur
5. Der Anteil der Sofort-Anträge

VIII. Die mittlere Wartezeit im internationalen Vergleich
1. Überlegungen zur Ermittlung der mittleren Wartezeit für andere Länder
2. Diskussion der berechneten mittleren Wartezeiten anderer Länder
3. Die mittlere Wartezeit in den USA

IX. Gedanken über die in der näheren Zukunft für das Fernmeldenetz der Deutschen Bundespost anzustrebende mittlere Wartezeit

X. Ausblick

XI. Schrifttum

Anhang I

Die mittlere Wartezeit auf Einrichtung von Fernsprechhauptanschlüssen nach der Theorie der mittleren Verweildauer

Anhang II

Ableitung der (Soll-) Neueinrichtungsfunktion aus der Nachfragefunktion und der Funktion der mittleren Wartezeit

I. Das Wirtschaftsgut „Fernsprechanschluß" — eine Immobilie

Wie für alle anderen Wirtschaftsgüter der modernen Zivilisation (Auto, Kühlschrank, Waschmaschine usw.), so gibt es auch für das Wirtschaftsgut „Fernsprechanschluß" Angebot und Nachfrage. Bereits hier muß allerdings auf einen wesentlichen Unterschied des Wirtschaftsgutes Fernsprechanschluß von den meisten anderen Wirtschaftsgütern hingewiesen werden, weil er von entscheidender Bedeutung für den Ausgleich von Angebot und Nachfrage für Fernsprechanschlüsse ist:

Das Wirtschaftsgut Auto z. B. läßt sich in den Fertigungsstätten vollständig anfertigen und mit den heutigen Transportmöglichkeiten ohne größere Schwierigkeiten zu den verschiedensten Orten der Nachfrage in weltweitem Maßstab liefern.

Das Wirtschaftsgut Fernsprechanschluß läßt sich dagegen nur sehr bedingt vorfertigen und von Orten bisheriger Nachfrage nach Orten neuer Nachfrage verlegen oder transportieren. Zwar lassen sich die wichtigsten Einzelteile eines Fernsprechanschlusses — nämlich Fernsprechapparat, Anschlußleitung und Vermittlungseinrichtung — vorfertigen und an den durch die Nachfrage bedingten Einbauort bringen, aber der Einbau der Anschlußkabel zwischen den Fernsprechteilnehmern und der Vermittlungsstelle als Freileitung, Erd- oder Röhrenkabel und der Aufbau der Vermittlungseinrichtung in einem Gebäude lassen diese vorher noch beweglichen Teile eines Fernsprechanschlusses praktisch zu ortsfesten Anlageteilen des hier betrachteten Wirtschaftsgutes werden, für die man wie für andere unbewegliche Wirtschaftsgüter den dafür geprägten Ausdruck „Immobilie" verwenden kann. Der Immobiliencharakter der verschiedenen technischen Einrichtungen, die zusammen das öffentliche Fernsprechnetz darstellen, bedeutet, daß dessen Teile nur noch mit erheblichem verlorenem Bauaufwand — soweit dies technisch ohne unannehmbar große Beeinträchtigung der Leistungsmerkmale der Anlagen überhaupt möglich ist — von der bisherigen Einbaustätte an eine andere Stelle etwaigen Bedarfs verlegt werden können.

Das Wirtschaftsgut Fernsprechanschluß stellt also im Gegensatz zu vielen anderen Wirtschaftsgütern ein räumlich ziemlich komplexes Gebilde dar, das sich — vereinfacht dargestellt — aus dem Fernsprechapparat, der Anschlußleitung zur Vermittlungsstelle und der Vermittlungseinrichtung zusammensetzt.

II. Was versteht man unter einem „Fernsprechanschluß" ?

Für die weiteren Betrachtungen über den Ausgleich von Angebot und Nachfrage für Fernsprechanschlüsse erweist es sich als notwendig, abzugrenzen, auf welche Art von Fernsprechanschluß sich diese Untersuchung erstrecken und beschränken soll, zumal durchaus nicht Fernsprechanschluß gleich Fernsprechanschluß ist. Sowohl im deutschen Sprachgebrauch als auch international faßt man unter dem Oberbegriff des Fernsprechanschlusses oder der Fernsprechstelle zwei verschiedene Anschlußformen zusammen: den Fernsprechhauptanschluß und den Fernsprechnebenanschluß.

1. Der Fernsprechhauptanschluß

Der Fernsprechhauptanschluß ist dadurch gekennzeichnet, daß der beim Teilnehmer installierte Fernsprechapparat über eine Anschlußleitung unmittelbar mit der zugehörigen Vermittlungsstelle des öffentlichen Fernsprechnetzes verbunden ist. Die so definierten Fernsprechhauptanschlüsse kann man weiter unterscheiden nach Einzel-Hauptanschlüssen und Gemeinschafts-Hauptanschlüssen. Der Einzelhauptanschluß ist dadurch gekennzeichnet, daß der beim Teilnehmer installierte Fernsprechapparat mit einer ausschließlich für diesen Apparat vorgesehenen Anschlußleitung mit dem zugehörigen Anschlußorgan in der Vermittlungsstelle verbunden ist. Beim Gemeinschaftshauptanschluß werden zwei oder mehrere bei verschiedenen Teilnehmern installierte Fernsprechapparate über eine einzige Anschlußleitung mit den Anschlußorganen in der Vermittlungsstelle verbunden; dennoch bleibt das Fernsprechgeheimnis auch unter den Fernsprechteilnehmern, die Inhaber von Gemeinschafts-Hauptanschlüssen sind, voll gewahrt. Diese Mehrfachausnutzung einer Anschlußleitung wird durch technische Zusatzeinrichtungen an den beiden Enden der Anschlußleitung möglich gemacht; sie kann vorteilhaft sein, weil rd. 40 % der Gesamtaufwendungen für die Errichtung des öffentlichen Fernsprechnetzes auf die Anschlußleitungen zwischen den Teilnehmerfernsprechapparaten und der Vermittlungsstelle entfallen. Schließlich sei noch darauf hingewiesen, daß die öffentlichen Sprechstellen im folgenden stets in der Zahl der Fernsprechhauptanschlüsse mit enthalten sind.

2. Der Fernsprechnebenanschluß

Bei Fernsprechnebenanschlüssen sind die Fernsprechapparate an Nebenstellenanlagen angeschlossen und dienen auch dem Internverkehr innerhalb dieser Anlage; sie haben aber über die Hauptanschlußleitungen der Nebenstellenanlage Zugang zum öffentlichen Netz. Eine Nebenstellenanlage mit n Hauptanschlußleitungen entspricht somit technisch n Fernsprechhauptanschlüssen.

3. Andere Fernsprechanschlüsse

Nicht als Fernsprechstellen oder Fernsprechanschlüsse angesehen werden in aller Regel solche Fernsprechapparate, die keinen Zugang zum öffentlichen Fernsprechnetz haben, die vielmehr ausschließlich dem Internverkehr auf demselben Grundstück oder unter gewissen Voraussetzungen auch auf verschiedenen Grundstücken dienen. Diese Fernsprechanlagen werden in Deutschland als Privatfernmeldeanlagen bezeichnet.

Aus dem bisher Dargelegten ergibt sich außerdem, daß die Zahl der Fernsprechnebenanschlüsse nur im Zusammenhang mit der Zahl der Fernsprechhauptanschlüsse gesehen werden kann, da jeder Fernsprechnebenanschluß für den Zugang zum öffentlichen Netz auf eine Hauptanschlußleitung der Nebenstellenanlage, an die er angeschlossen ist, angewiesen ist. Wohl aus diesem Grunde wird in Untersuchungen und internationalen Vergleichen, die den Fernsprechanschluß behandeln, meist die Summe von Fernsprechhaupt- und -nebenanschlüssen als Vergleichsbasis genommen und dafür die Bezeichnung „Gesamtzahl aller Sprechstellen“ verwendet.

4. Das Verhältnis der Zahl der Fernsprechstellen zu der Zahl der Fernsprechhauptanschlüsse

Die ersten Fernsprechapparate eines im Entstehen befindlichen Fernsprechnetzes werden in der Regel durch individuelle Anschlußleitungen mit der Vermittlungsstelle verbunden sein, werden also Einzelhauptanschlüsse sein. In den Anfangsjahren wird das Verhältnis der Zahl der Fernsprechstellen zu derjenigen der Fernsprechhauptanschlüsse also nahe bei 1 liegen. Während dieser Anfangsjahre werden die Fernsprechapparate hauptsächlich zu Regierungs-, Verwaltungs- und Wirtschaftszwecken, weniger aber für private Zwecke verwendet werden. Die Geschwindigkeit, mit der die Zahl der Fernsprechstellen zunimmt, wird in erster Linie von der politischen und wirtschaftlichen Entwicklung des betreffenden Landes abhängen. Mit der Zunahme der Zahl der Fernsprechstellen werden gewerbliche Wirtschaft und öffentliche Verwaltung allmählich dazu übergehen, sich immer größere Nebenstellenanlagen anzuschaffen, wodurch das Verhältnis der Zahl der Sprechstellen zu der der Hauptanschlüsse zunächst größer wird. Die meisten Länder befinden sich heute in dieser Entwicklungsphase [1].

Nach einer gewissen Zeit wird die Nachfrage der gewerblichen Wirtschaft und der öffentlichen Verwaltung überlagert von der privaten Nachfrage, wenn es nämlich dank der gestiegenen Masseneinkommen immer mehr zur Regel wird, in jedem Wohnhaus oder in jeder Wohnung einen Fernsprechanschluß zu besitzen. Diese Entwicklungsphase ist dadurch gekennzeichnet, daß durch neu beschaltete Anschlußleitungen überwiegend jeweils nur 1 Fernsprechapparat neu hinzukommt, wodurch das vorher wesentlich über 1 liegende Verhältnis der Zahl der Sprechstellen zu derjenigen der Hauptanschlüsse wieder sinkt. Nach weiterer Zunahme des Lebensstandards ist damit zu rechnen, daß es schließlich auch in den Wohnungen mehr als einen Fernsprechapparat je Hauptanschlußleitung geben wird, so daß dadurch sowie durch die stärker ins Gewicht fallende normale Nachfragesteigerung einer wachsenden Wirtschaft und Verwaltung dieses Verhältnis der Sprechstellen zu den Hauptanschlüssen wieder zunehmen wird (Bild 1).

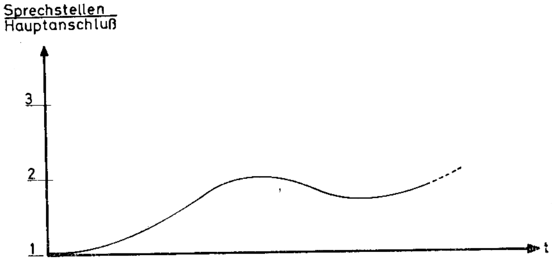


Bild 1. Die Entwicklungskurve des Verhältnisses von Sprechstellen zu Hauptanschlüssen für ein stetig wachsendes Fernsprechnetz

Verfolgt man die Entwicklung in Deutschland von 1890 bis heute (Bild 2), so erkennt man, daß der Verlauf weitgehend mit der vermuteten Entwicklung übereinstimmt. Dies findet man auch für andere Länder bestätigt. Das Verhältnis der Zahl der Sprechstellen zu der Zahl der Hauptanschlüsse hat in Deutschland während der Jahre 1957—1958 mit 1,86 Sprechstellen je Hauptanschluß (einschl. öffentliche Sprechstellen) sein Maximum überschritten und sinkt seitdem. Die Nachfrage nach Fernsprechhauptanschlüssen wird also jetzt stärker von der privaten Seite her bestimmt. Länder mit einem wesentlich dichteren Fernsprechnetz, als es unser Land zur Zeit besitzt, wie die USA oder Neu-

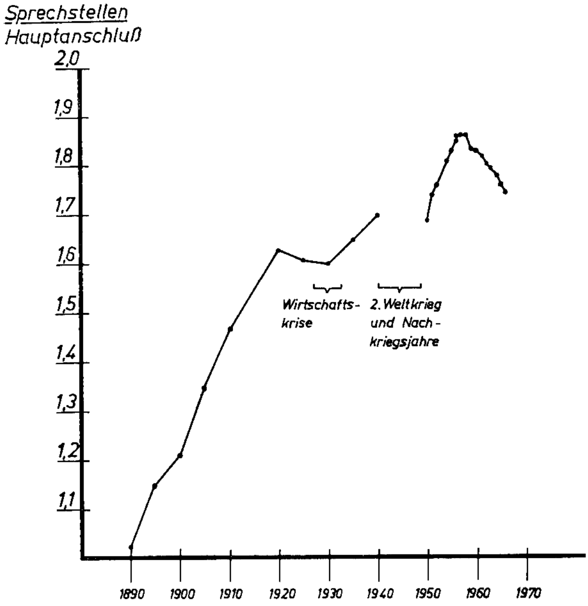


Bild 2. Das Verhältnis von Sprechstellen zu Hauptanschlüssen (einschl. öffentlicher Sprechstellen) in Deutschland (ab 1950: Gebiet der Bundesrepublik einschl. Berlin)

seeland, befinden sich bereits in der Endphase der Entwicklungskurve, während der das Verhältnis der Sprechstellenzahl zur Zahl der Hauptanschlüsse wieder leicht ansteigt.

Hiernach kann sich eine Untersuchung über Abhängigkeiten von Angebot und Nachfrage bei Fernsprechanschlüssen zur Zeit in der Bundesrepublik Deutschland auf Fernsprechhauptanschlüsse beschränken, ohne wesentlich an allgemeiner Aussagefähigkeit zu verlieren. Diese Beschränkung ist auch deshalb sinnvoll, weil im folgenden besonders auf den mangelnden Ausgleich von Angebot und Nachfrage eingegangen werden soll und dieser sich zu rd. 90 % auf Hauptanschlüsse auswirkt und nur zu rd. 10 % Nebenstellenanlagen, Nebenanschlüsse, Querverbindungen, Abzweigleitungen und sonstige Teilnehmereinrichtungen betrifft.

III. Die Begriffe „Angebot“ und „Nachfrage“ im Zusammenhang mit dem Wirtschaftsgut Fernsprechhauptanschluß und dem Fernmeldenetz

1. Definition der Nachfrage

Als Nachfrage nach Fernsprechhauptanschlüssen soll in diesem Zusammenhang die Zahl jener künftigen Fernsprechhauptanschlüsse verstanden werden, die in einem beliebigen Beobachtungszeitabschnitt förmlich neu beantragt, aber noch nicht eingerichtet worden sind. Dem entspricht etwa die Bestellung einer Ware. Es ist trotzdem schwierig, die so definierte Nachfrage zu erfassen, da es neben der Neueinrichtung eines beantragten Fernsprechanschlusses noch eine weitere Möglichkeit gibt, zu einem Fernsprechanschluß zu gelangen bzw. neuer Fernsprechteilnehmer zu werden, und zwar durch Eintreten in das Teilnehmerverhältnis eines anderen Teilnehmers. Die Fernsprechordnung (§ 14, Abs. 1) spricht in diesen Fällen von einer „Übertragung“, deren Genehmigung durch die Deutsche Bundespost an eine Reihe von Bedingungen geknüpft ist.

Die auf dem Wege der Übertragung neu hinzukommenden Fernsprechteilnehmer erfordern keinerlei Einrichtungs- und Schaltarbeiten beim Teilnehmer oder im Fernmeldenetz. Für sie wird deshalb auch kein Einrichtungs-Bauauftrag erteilt. Von der Fernmeldeverwaltung aus gesehen ändert sich nur der Name des Teilnehmers, so daß alle diesbezüglichen Teilnehmerunterlagen (in der Fernmelderechnungsstelle, Fernsprechbuchstelle, Fernsprechauskunft) berichtigt werden müssen.

Auf diese Weise neu hinzukommende Fernsprechteilnehmer werden nicht als Träger einer Nachfrage erfaßt, da das alte Teilnehmerverhältnis gleichsam unter einem neuen Namen fortgesetzt wird. Streng genommen gehört ihre Zahl, die heute für das Bundesgebiet bei 100 000 Übertragungen jährlich liegen dürfte, zu der „Nachfrage nach Hauptanschlüssen“; da es aber keine genaueren Unterlagen über sie gibt, sollen unter „Nachfrage“ im folgenden nur die Anträge betrachtet werden, die zu ihrer Erledigung (= Begründung eines neuen Teilnehmerverhältnisses) die Ausfertigung eines Neueinrichtungs-Bauauftrages notwendig machen. Damit ist zugleich festgelegt, daß Verlegungsanträge (Fernsprechordnung § 17, Abs. 1) verziehender Fernsprechteilnehmer sowie Umwandlungsanträge (von Einzel- in Gemeinschaftshauptanschlüsse oder umgekehrt, Fernsprechordnung § 17, Abs. 2) nicht unter den oben definierten Nachfrage-Begriff fallen.

Unmittelbar verknüpft mit dem Begriff der Nachfrage ist — falls das Angebot unzureichend ist — der Teilbereich der „unbefriedigten Nachfrage“, der in der Zahl der unerledigten Anträge auf Einrichtung von Fernsprechhauptanschlüssen feststellbar ist.

Zur Passivseite der Nachfrage gehört schließlich auch noch die Zahl der infolge Kündigungen in dem betrachteten Zeitabschnitt aufgehobenen Hauptanschlüsse, die man von der Aktivseite der im gleichen Zeitabschnitt neu beantragten Hauptanschlüsse abziehen könnte. Da aber die Zahl der Aufhebungen im Verlauf der letzten Jahre relativ konstant und wenig abhängig von Angebot und Neunachfrage zu sein scheint (vgl. Bild 5), wurde sie bei den weiteren Betrachtungen nicht berücksichtigt.

2. Definition des Angebotes

Noch schwieriger als die Definition der Nachfrage ist die des Angebotes. Dies hängt mit der komplexen Struktur des Fernmeldenetzes zusammen, wie sie in Abschnitt I. umrissen wurde. Während es für die Vermittlungseinrichtung noch denkbar wäre, eine Art „Angebot“ in Form aller beschaltbaren Beschaltungseinheiten (Beschaltungseinheit = Anschaltemöglichkeit für einen Hauptanschluß in einer Ortsvermittlungsstelle) zu definieren, scheidet eine solche oder ähnliche Form der Angebotsdefinition für das Anschlußleitungsnetz aus. Das Angebot kann deshalb nicht als Zahl in Bereitschaft gehaltener Fernsprechhauptanschlüsse exakt erfaßt, sondern allenfalls in Form mittlerer Ausbauabschnitte abgeschätzt werden (Abschnitt III. 3.). Da aber für die quantitative Analyse der interessierenden Zusammenhänge möglichst exakte und zuverlässige Zahlen der Angebotsseite erforderlich sind, wurde als Maß für das Angebot ersatzweise die Zahl der in dem betrachteten Zeitabschnitt neu eingerichteten Hauptanschlüsse gewählt, die bei entsprechender Nachfrage in Beziehung zu der (unbekannten) Zahl der „in Vorrat gehaltenen“ Hauptanschlüsse steht und ein Spiegelbild dieser Größe ist. Verlegungs-Einrichtungen und Umwandlungs-Einrichtungen tragen nicht zu dem so bestimmten Angebot bei.

3. Die Abhängigkeit des Angebotes von der Nachfrage im Zusammenhang mit einigen wichtigen Strukturmerkmalen des Fernmeldenetzes

Da bei der Analyse der Zeitreihen für charakteristische Zeitabschnitte (Abschnitt IV. 2. und folgende) der Eindruck entstehen könnte, Angebot und Nachfrage würden als vollständig voneinander unabhängige Faktoren betrachtet, soll im folgenden allgemein auf die Abhängigkeit des Angebots von der Nachfrage bei Fernsprechhauptanschlüssen eingegangen werden.

Der Umfang der erforderlichen Lagerhaltung hängt für das Angebot verschiedener Wirtschaftsgüter ganz offensichtlich davon ab, wie leicht beweglich diese sind und welche durchschnittliche Herstellungszeit das individuelle Wirtschaftsgut benötigt.

Unter „Herstellungszeit eines Fernsprechhauptanschlusses“ soll die Zeit verstanden werden, die im Durchschnitt notwendig ist, um alle Grundvoraussetzungen zur sofortigen Einrichtung eines beantragten Hauptanschlusses zu schaffen. Sie umfaßt damit die Planungs-, Produktions- und Einbauzeit aller Teilanlagen eines Fernsprechnetzes, nämlich Gebäude mit Vermittlungseinrichtungen, Anschlußkabel und Fernsprechapparate.

A. Die „Herstellungszeit“ und die „Einrichtungszeit“ für Hauptanschlüsse

Die so definierte Herstellungszeit liegt, wie die langjährige Erfahrung bei der Deutschen Bundespost zeigt, zwischen 18 und 24 Monaten. Die „Einrichtungszeit“ eines beantragten Fernsprechhauptanschlusses bezeichnet die Zeit, die vom Tag der Antragstellung bis zur Inbetriebnahme vergeht. Wenn im Beantragungszeitpunkt bzw. in den folgenden 4 Wochen alle technischen Voraussetzungen vorhanden sind bzw. sein werden, gilt der Hauptanschluß als „sofort einrichtbar“, und es wird ein „Bauauftrag“ erteilt. Die „Sofort-Einrichtungszeit“ beträgt im Mittel 4 Wochen und umfaßt folgende Arbeiten (die durch den Bauauftrag gesteuert werden):

1. Weiterführung (oberirdisch oder unterirdisch) der Anschlußleitung vom öffentlichen Weg bis an das Haus und bis zur Anschaltedose in der Wohnung des Antragstellers.
2. Durchschaltung der Anschlußleitung über die verschiedenen Netzverzweigungspunkte bis zur Teilnehmerschaltung in der Ortsvermittlungsstelle.
3. Organisatorische Eingliederung des Antragstellers in die verschiedenen zum Fernsprechbetrieb gehörigen Nebendienste (Fernmelderechnungsstelle, Fernsprechbuchstelle, Fernsprechauskunft, Fernsprechentstörung).

Wenn im Beantragungszeitpunkt bzw. in den folgenden 4 Wochen auf der kabeltechnischen oder auf der vermittlungstechnischen Seite oder auf beiden zugleich Mangel herrscht, so wird zunächst kein Bauauftrag erteilt, weil der beantragte Hauptanschluß „nicht sofort“ eingerichtet werden kann. In diesem Fall greift die oben definierte Einrichtungszeit offensichtlich mehr oder weniger in die „Herstellungszeit der technischen Voraussetzungen“ über, während sich die „Sofort-Einrichtungszeit“ (= Erledigungszeit des Bauauftrages) unmittelbar an die „Herstellungszeit“ anschließt, wenn man dazwischen liegende Reserve- bzw. Liegezeiten der unbenutzten Netzbestandteile außer Betracht läßt.

B. Die optimalen Zeitabschnitte beim Ausbau des Fernmeldenetzes

Um die Zahl der in Reserve gehaltenen technischen Einrichtungen, die ja zunächst als totes Kapital brachliegen, möglichst niedrig zu halten, wurden Kostenminimierungsrechnungen durchgeführt, die zu optimalen Zeitabschnitten für die Erweiterung der einzelnen technischen Einrichtungen eines Fernmeldenetzes führten. Die optimalen Ausbauabschnitte für Ortsvermittlungsstellen (OVSt) betragen entweder 3 Jahre (für große OVStn mit mehr als 600 Anrufeinheiten) oder 5 Jahre (für kleine OVStn mit weniger als 600 Anrufeinheiten). Der Mittelwert der optimalen Ausbauabschnitte liegt also bei etwa 4 Jahren.

Die theoretisch berechenbaren günstigsten Ausbauabschnitte für die verschiedenen Teile des Anschlußkabelnetzes sind abhängig von folgenden Größen:

1. Höhe des Zinssatzes i für das notwendige Anlagekapital; ein höherer Zinssatz ergibt kürzere Ausbauabschnitte.
2. Nachfragezuwachs n von Anschlußleitungen pro Jahr; ein stärkerer Zuwachs führt zu kürzeren Ausbauabschnitten.
3. Kostenfaktor a/b, der von der Ausbautechnik (Röhren- oder Erdkabel) abhängt und das Verhältnis der Grund- oder Linienkosten a (= Kosten für Kabelmäntel mit Bewehrung, für Kabelkanalanlagen, für Verlege- und Pflasterarbeiten sowie für Schaltgehäuse) zu den Einheiten- oder Leitungskosten b (= Kosten der reinen Stromkreise, d. h. der isolierten Doppelader von Erd- und Röhrenkabeln mit ihren Durchverbindungen und Abschlußeinrichtungen) ausdrückt.

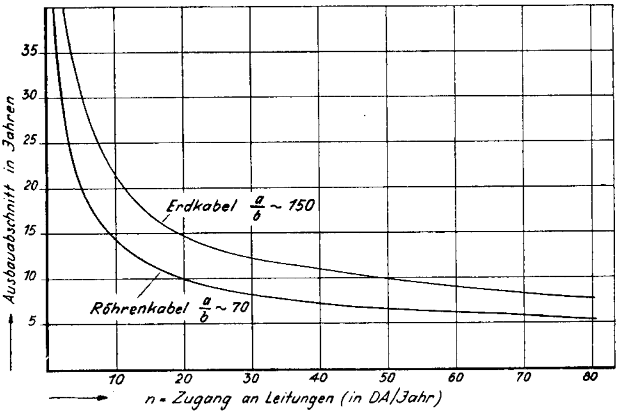


Bild 3. Die optimalen Ausbauabschnitte für Erdkabel (a/b = 150) und Röhrenkabel (a/b = 70) in Abhängigkeit von der jährlichen Nachfragezunahme n für Anschlußleitungen bei i = 6 %

Die hiernach berechneten günstigsten Ausbauabschnitte des Anschlußkabelnetzes liegen mit minimal rd. 5 Jahren und maximal rd. 30 Jahren wesentlich weiter auseinander als die der Ortsvermittlungsstellen (Bild 3). Für die Praxis wurden für die einzelnen Netzteile einheitliche mittlere Ausbauabschnitte nach folgender Tabelle 1 festgelegt.

Der „mittlere Ausbauabschnitt" für das gesamte Anschlußkabelnetz dürfte bei etwa 10 Jahren liegen.

Tabelle 1

Zusammenstellung der Ausbauabschnitte für Anschlußkabel

Anschlußkabelart	Ausbauabschnitte für Röhrenkabel	 Erdkabel
Hauptkabel	5 Jahre (bei 300 DA und mehr)*) 10 Jahre (bei 100 bis 500 DA)	10 Jahre (bei 200 DA und mehr) 20 Jahre (bei 50 bis 300 DA)
Verzweigungskabel	10 bis 20 Jahre (bei 50 DA und mehr) 30 Jahre/Endausbau (bei 5 bis 70 DA)	30 Jahre/Endausbau (bei 5 bis 100 DA)

*) Zugang an Leitungen (d. h. Doppeladern = DA) während des Ausbauabschnitts

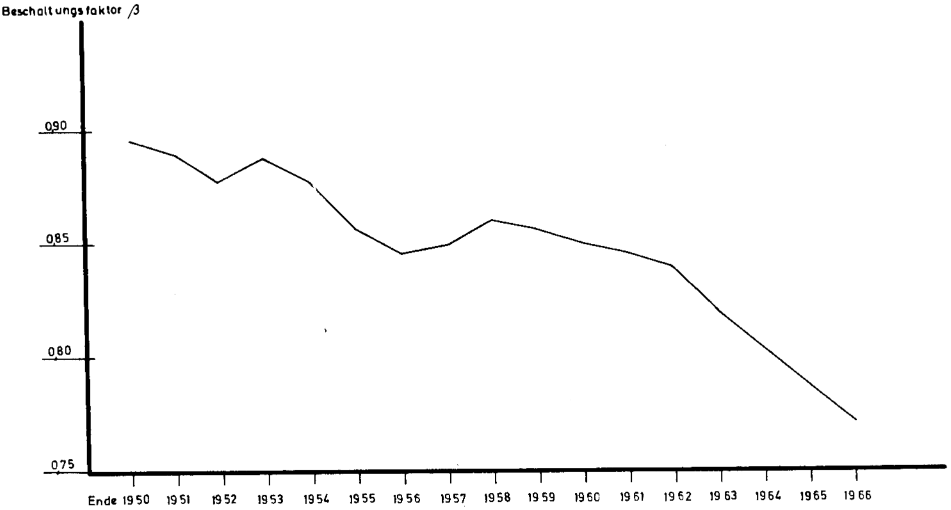
C. Vorrat und Ausnutzungsgrad im Fernmeldenetz

Mit den genannten mittleren Ausbauabschnitten ist es nun möglich, für das Bundesgebiet ungefähr die mittlere Vorratshaltung für Fernsprechhauptanschlüsse anzugeben. Da es sich dabei um eine Aussage zu einem bestimmten Zeitpunkt handelt, müssen die obengenannten Erweiterungszeiträume nochmals halbiert werden, denn das gesamte Bundesgebiet befindet sich — soweit man annehmen kann, daß es nirgendwo Rückstände bei der Netzerweiterung gibt — im Durchschnitt stets gerade in der Mitte der optimalen Ausbauabschnitte.

Die mittlere Vorratshaltung liegt somit zwischen 2 Jahren (für die Wählvermittlungsstellen) und 5 Jahren (Anschlußkabelnetz). Sie findet für Wählvermittlungsstellen u. a. ihren Ausdruck in der Größe des Beschaltungsfaktors für das Bundesgebiet, der als Verhältnis aller beschalteten zu allen theoretisch beschaltbaren Beschaltungseinheiten für Hauptanschlüsse definiert ist, und dessen Verlauf von 1950 bis 1966 anschaulich (Bild 4) die Schwankungen der jeweils noch vorhandenen Reserven an Beschaltungseinheiten aufzeigt. Für das Anschlußkabelnetz können Einzelheiten über die Vorratshaltung bei Angrick [2] nachgelesen werden.

Die tatsächlich nutzbare Kapazität in den Vermittlungsstellen und im Anschlußkabelnetz in Form schaltbarer, gebührenpflichtiger Hauptanschlüsse liegt allerdings erheblich unter der theoretisch möglichen, maximalen Anschlußkapazität. Der höchste praktisch erreichbare Beschaltungsfaktor der Ortsvermittlungsstellen liegt wegen der Notwendigkeit von Prüfnummern und Dienstanschlüssen und wegen der erforderlichen vorübergehenden Stillegung frei gewordener Anschlußmöglichkeiten bei 95 %.

Im Anschlußkabelnetz liegt der maximal mögliche Ausnutzungsgrad noch niedriger, da das System des Netzaufbaues bei der willkürlichen Verteilung der Nachfragequellen grundsätzlich die produktive Nutzung aller eingebauten Anschlußkabel unmöglich macht. Hinzu kommt noch,



β	0,896	0,890	0,878	0,888	0,878	0,857	0,846	0,850	0,861	0,857	0,850	0,846	0,840	0,820	0,803	0,788	0,771

Bild 4. Die Entwicklung des Beschaltungsfaktors (Verhältnis der belegten zu den insgesamt vorhandenen Beschaltungseinheiten) im Bereich der Deutschen Bundespost von 1950 bis 1966

daß gewisse Leitungsmengen infolge unvermeidbarer Fehlschätzungen der tatsächlichen Entwicklung (Siedlungsbewegungen, wirtschaftlicher Strukturwandel) an falschen Stellen investiert werden. Der Gesamtausnutzungsgrad des Anschlußkabelnetzes dürfte demnach höchstens bei 85 % des vorhandenen Bestandes liegen.

D. Die Abhängigkeit des Angebotes von der Nachfrage für Hauptanschlüsse

In Zeiten stetiger Entwicklung, die durch ein stetiges, vorausschätzbares Wachstum der Nachfrage und darauf abgestellte, ausreichende Fernmelde-Erweiterungs-Investitionen gekennzeichnet sein sollen, folgt das Angebot in Form eingerichteter Hauptanschlüsse dem Trend der Nachfrage. Dabei spricht übrigens nichts dagegen, daß sich die Nachfrage nach Fernsprechanschlüssen durch den Faktor „Werbung“ nicht ebenso beeinflussen ließe wie bei vielen anderen Wirtschaftsgütern.

Tritt jedoch in der Nachfrage eine nicht vorausgesehene und damit nicht einkalkulierte Unstetigkeit in Form einer plötzlichen starken Zunahme (z. B. durch wirtschaftliche Hochkonjunktur) oder einer starken Abnahme (z. B. Gebührenerhöhung, plötzliche Wirtschaftsdepression oder negativ bewertetes großes politisches Ereignis) auf, so wirkt sich diese Unstetigkeit infolge der Vorratshaltung auf der Angebotsseite erst mit Zeitverzögerung und dann noch stark abgeschwächt aus. Das gleiche gilt übrigens für das oben definierte Angebot, wenn auf der Angebotsseite plötzlich aus irgendwelchen Gründen die Fernmelde-Erweiterungsinvestitionen — durch die ja erst die Voraussetzungen für ein „Angebot" geschaffen werden — stark erhöht (soweit dies im Rahmen der gegebenen Planungs-, Industrie- und Einbaukapazität technisch überhaupt möglich ist) oder stark vermindert werden.

Nicht in Betracht gezogen ist im folgenden, ob und inwieweit eine beträchtliche Steigerung des Angebotes in Verbindung mit einer stark zurückgehenden mittleren Einrichtungszeit eine stimulierende Wirkung auf die Entwicklung der Nachfrage hat — eine Rückwirkung, mit deren Auftreten man immerhin rechnen muß, wie die Angebot-Nachfrage-Entwicklung anderer Wirtschaftsgüter zeigt.

4. Die Zahl der unerledigten Anträge auf Einrichtung von Fernsprechhauptanschlüssen in Abhängigkeit von Angebot und Nachfrage

Um zunächst einen Überblick über die Entwicklung von Angebot und Nachfrage in der jüngeren Vergangenheit zu gewinnen, wurde in Bild 5 die Zahl der jährlich neu beantragten, infolge Kündigungen aufgehobenen, neu hergestellten Hauptanschlüsse sowie der am Ende jeden Jahres vorliegenden unerledigten Anträge auf Einrichtung von Hauptanschlüssen von 1950 bis 1966 dargestellt. Zugleich wird in Bild 5 mit angegeben, auf welche Ursachen (Mangel an technischen Einrichtungen und in Einrichtung befindliche Anschlüsse) die Zahl der unerledigten Anträge zurückzuführen ist.

Hiernach könnte man zunächst zu der Schlußfolgerung kommen, daß Angebot und Nachfrage zu keinem Zeitpunkt seit 1950 im Gleichgewicht waren, falls man einen Ausgleich von Angebot und Nachfrage im Verschwinden der unerledigten Anträge sehen wollte. Jedoch ist die Einrichtungs- bzw. Erledigungszeit auch sofort ausführbarer Anträge auf Einrichtung eines Hauptanschlusses nicht vernachlässigbar klein, sondern beträgt im Durchschnitt etwa 4 Wochen. Daher muß mindestens ein dieser Zeitspanne entsprechendes Arbeitsvolumen von unerledigten Anträgen vorhanden sein. Kann außerdem eine Anzahl von Anträgen aus Mangel an technischen Einrichtungen nicht sofort ausgeführt werden, so steigt die Zahl der unerledigten Anträge darüber hinaus an.

Das führt zu der Frage, ob die Zahl der zu einem bestimmten Zeitpunkt vorliegenden unerledigten Anträge auf Einrichtung von Fernsprechhauptanschlüssen überhaupt der richtige Maßstab dafür ist, ob und inwieweit sich Angebot und Nachfrage im Gleichgewicht befinden.

IV. Die mittlere Wartezeit

Wenn man von unerledigten Anträgen spricht, so liegt es nahe, auch an den Begriff der Wartezeit zu denken, denn bis zur Erledigung eines Antrages auf Einrichtung eines Fernsprechhauptanschlusses muß der Antragsteller aus seiner Sicht gesehen „warten". Auch wenn die mittlere Wartezeit vom Tag der Antragstellung an bis zur Einrichtung der beantragten Fernsprechhauptanschlüsse, für das Kollektiv aller unerledigten Anträge errechnet, als statistischer Wert keine konkrete Aussage für den einzelnen Antragsteller zuläßt, wird die Kenntnis dieser mittleren Wartezeit, ihre Veränderung im Laufe der Monate und Jahre sowie ihre

Beeinflußbarkeit der Fernmeldeverwaltung, der die Befriedigung der vorhandenen Nachfrage obliegt, wichtige Aufschlüsse geben. Denn weder die absolute Zahl der unerledigten Anträge am Jahresende noch ihr Anteil etwa an der Zahl der jährlich neu gestellten Anträge oder ihr Verhältnis zu der Zahl der bereits vorhandenen Hauptanschlüsse sagen genaueres aus über die Güte eines Fernsprechdienstes, solange nichts über die Struktur der unerledigten Anträge bekannt ist. Die Struktur der unerledigten Anträge (d. i. in dieser Analyse die Häufigkeitsverteilung der Wartezeiten) und der daraus mögliche Schluß auf die mittlere Wartezeit können als ein objektives Maß bei der Beurteilung des Umfanges der bisherigen und der Bestimmung der künftigen Fernsprechinvestitionen benutzt werden. Es sollte also geklärt werden, wie lange die unerledigten Anträge im Mittel bereits lagern und noch lagern werden bzw. wie lange sie im Mittel überhaupt lagern.

1. Was ist die mittlere Wartezeit in der Theorie?

Die Zahl der zu jedem beliebigen Zeitpunkt vorliegenden unerledigten Anträge B kann als Lagerbestand angesehen werden. Dieser Lagerbestand wird laufend durch Abgänge A in Form erledigter Anträge (durch Einrichtung von Hauptanschlüssen) abgebaut und durch Zugänge Z von neuen Anträgen ergänzt. Die Wartezeit jedes Antrages kann als Verweildauer d_i, die mittlere Wartezeit als mittlere Verweildauer

$$d = \frac{1}{B} \sum_{1}^{B} d_i$$

angesehen werden.

Die mittlere Wartezeit kann mit Hilfe der Schätzmethode der Theorie der mittleren Verweildauer berechnet werden (Anhang I).

Danach hat die mittlere Wartezeit auf Einrichtung von Hauptanschlüssen die Größe

$$d_{az} = \frac{2\,B_{\varnothing}}{a+z} \quad \text{bzw.} \quad d_a = \frac{B_{\varnothing}}{a}$$

a = Abgang (= Zahl der erledigten Anträge) je Zeiteinheit,
z = Zugang (= Zahl der neuen Anträge) je Zeiteinheit,
$B_{\varnothing}$ = Durchschnittsbestand an unerledigten Anträgen in dem Zeitabschnitt, für den a und z gelten.

Die mittlere Wartezeit wird als d_{az} berechnet, wenn die Häufigkeitsverteilung der Wartezeiten nicht bekannt ist und wenn anzunehmen ist, daß die Elemente des Lagerbestandes zu jedem Beobachtungszeitpunkt die Hälfte ihrer Wartezeit (= Verweildauer) im Durchschnitt hinter und die andere Hälfte noch vor sich haben. Als d_a wird sie berechnet, wenn die Häufigkeitsverteilungen exponentiell sind und folglich die Elemente des Lagerbestandes zu jedem Beobachtungszeitpunkt im Durchschnitt ihre Verweildauer sowohl noch vor sich als auch hinter sich haben. Das ist hinsichtlich der unerledigten Anträge auf Einrichtung von Fernsprechhauptanschlüssen in Zeiten ungestörter Entwicklung in guter Annäherung der Fall. In Zeiten gestörter Entwicklung (z. B.

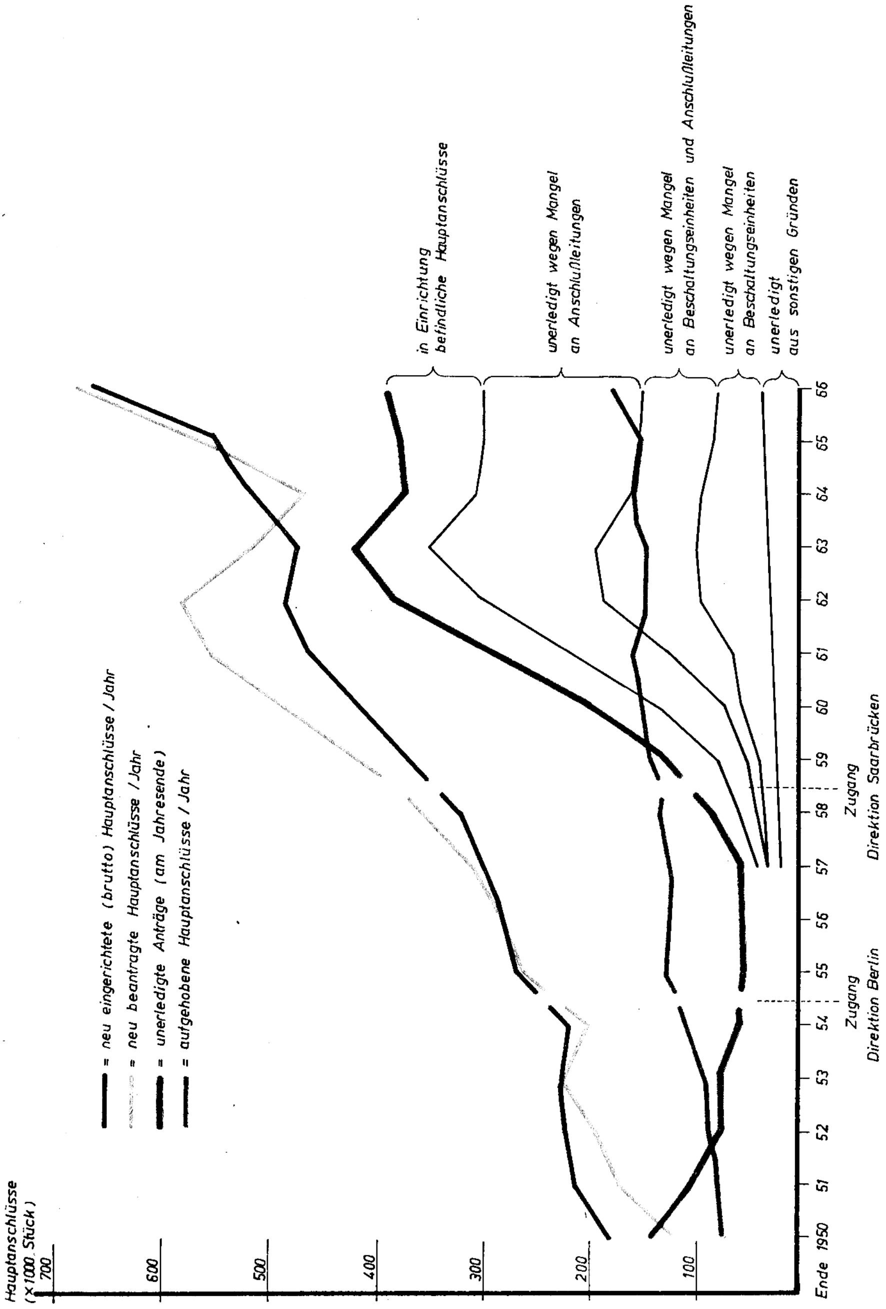

Hauptanschlüsse (×1000 Stück)
700
600
500
400
300
200
100
Ende 1950
51
52
53
54
55
56
57
58
59
60
61
62
63
64
65
66
= neu eingerichtete (brutto) Hauptanschlüsse / Jahr
= neu beantragte Hauptanschlüsse / Jahr
= unerledigte Anträge (am Jahresende)
= aufgehobene Hauptanschlüsse / Jahr
Zugang Direktion Berlin
Zugang Direktion Saarbrücken
in Einrichtung befindliche Hauptanschlüsse
unerledigt wegen Mangel an Anschlußleitungen
unerledigt wegen Mangel an Beschaltungseinheiten und Anschlußleitungen
unerledigt wegen Mangel an Beschaltungseinheiten
unerledigt aus sonstigen Gründen

Bild 5. Die Entwicklung der jährlich neu beantragten, neu eingerichteten und aufgehobenen Fernsprechhauptanschlüsse und der am Jahresende unerledigten Anträge von 1950 bis 1966 im Bereich der Deutschen Bundespost

Kalenderjahr (Kj.)	1950	1951	1952	1953	1954	1955	1956	1957	1958	1959	1960	1961	1962	1963	1964	1965	1966
neu beantragte Hauptanschlüsse (1000 Stück; im Kj.)	121	173	196	227	204	263	282	307	352	416	484	555	582	517	471	556	682
aufgehobene Hauptanschlüsse (1000 Stück; im Kj.)	74	80	87	93	108	130	124	126	134	142	153	163	150	149	161	152	183
neu eingerichtete Hauptanschlüsse (1000 Stück; im Kj.)	184	214	223	226	222	269	281	305	324	371	416	466	487	477	519	553	671
unerledigte Anträge (1000 Stück; Ende Kj.)	149	107	80	81	63	57,2	58,3	60	87	132	200	289	384	424	376	380	391

infolge oder als Frühwirkung von Gebührenänderungen) liegt die mittlere Wartezeit zwischen den Ergebnissen beider Berechnungsarten.

Durch einfache theoretische Modellbetrachtungen kann gezeigt werden, daß im quasistationären Falle (d. h. monatlich gleichbleibende oder kontinuierlich steigende oder kontinuierlich fallende Nachfrage und relativ dazu gleichbleibendes Angebot, z. B. durch Erledigungsquoten von 10 oder 20 % usw. der vorhandenen Anträge) die Lagerzeiten der unerledigten Anträge und die Wartezeiten der erledigten Anträge exponential verteilt sind. Weiterhin kann gezeigt werden, daß die mittleren Lagerzeiten des erstgenannten Kollektivs (das sich aus den „sofort einrichtbaren" und den „nicht-sofort einrichtbaren" Anträgen zusammensetzt, Abschnitt III.3.A.) etwa gleich den mittleren Wartezeiten des zweitgenannten Kollektivs sind.

Werden die Exponential-Verteilungen gestört, indem z. B. im Antragsmonat 70 % der Anträge, im nächsten Monat 60 % der verbliebenen Anträge, im übernächsten Monat 50 % der verbliebenen Anträge erledigt werden usw., so bleiben zwar kontinuierlich fallende Häufigkeitsverteilungen erhalten, aber die mittlere Lagerzeit und die mittlere Wartezeit weichen voneinander ab. Im Beispielsfalle würde die mittlere Lagerzeit der unerledigten Anträge um 66 % über der mittleren Wartezeit der erledigten Anträge liegen. Ob zu bestimmten Zeitpunkten etwa dieser oder ein ähnlicher Fall im Bereich der Deutschen Bundespost vorliegt, kann nur durch Untersuchungen von Fall zu Fall festgestellt werden. Wie noch gezeigt werden wird (s. Bild 20 und 23), sind im stationären Fall oder im Fall kontinuierlicher Entwicklung sowohl die Lagerzeiten als auch die Wartezeiten nahezu exponential verteilt, so daß gilt:

Mittlere Lagerzeit $\approx$ mittlere Wartezeit.

Wie später noch auszuführen sein wird (vgl. Abschn. VI.3.), gibt es auch Störungen im kontinuierlichen Abfall der Häufigkeitsverteilungen (Durchhänge). Diese Störungen können an theoretischen Modellen nicht dadurch erzeugt werden, daß in den ersten Monaten relativ mehr Anträge erledigt werden als in den späteren Monaten. Sie können aber sehr wohl dadurch erzeugt werden, daß entweder das Angebot stagniert und die Nachfrage abnimmt oder daß umgekehrt die Nachfrage konstant bleibt und das Angebot sich verändert. In diesen Fällen erleiden zuerst die Häufigkeitsverteilungen der Lagerzeiten der unerledigten Anträge Einbrüche (Störungen), die sich nach einigen Monaten auch auf die Häufigkeitsverteilungen der Wartezeiten der erledigten Anträge übertragen. Diese Einbrüche verstärken sich in der ersten Zeit, wandern aber von Monat zu Monat jeweils um einen Monat weiter in die zeitliche Tiefe hinein und flachen ab. Wenn Angebot und Nachfrage irgendwie — z. B. auch im Niveau gegenüber vorher verändert — wieder in ein Gleichgewicht kommen, bauen sich neue ungestörte, kontinuierlich fallende Häufigkeitsverteilungen auf, die unwesentlich von Exponential-Verteilungen abweichen.

Es bleibt nur noch zu überlegen, für welchen Zeitabschnitt die mittlere Wartezeit auf Einrichtung von Hauptanschlüssen bestimmt werden soll. Kellerer [3] gibt als Faustregel an, daß die Zeiteinheit von a und z mindestens 4d sein soll. Da der Zeitabschnitt einerseits für eine gesicherte Ermittlung von d genügend lang und andererseits zur Verwendung bei der Beurteilung kurz zurückliegender oder nahe bevorstehender Maßnahmen möglichst kurz sein soll, wurden 12 Monate gewählt, zumal damit zugleich keinerlei saisonale Einflüsse d mehr verfälschen können, womit man für kürzere Beobachtungs-Zeitabschnitte rechnen müßte.

2. Verlauf der mittleren Wartezeit von 1950 bis 1966

Um eine möglichst stetige Kurve zu erhalten, wurde für die benötigten Ausgangswerte a, z und $B_{\varnothing}$ ein monatlich fortlaufendes Berechnungsverfahren — unter Eliminierung des jeweils ältesten Monats — gewählt und die daraus gewonnenen gleitenden 12-Monats-Durchschnittswerte von d_a und d_{az} im Mittelpunkt des jeweils betrachteten 12-Monatsabschnittes eingetragen und durch stetige Kurven verbunden (Bild 6). Hier wie auch in allen künftigen Bildern mit Trendfunktionen wurden a(t) und z(t) aus Gründen der Vereinfachung und Übersicht stets als kontinuierliche Kurven dargestellt, obwohl den jeweils auf einen Monatsabschnitt bezogenen diskreten Werten des Zugangs und Abgangs an Anträgen streng genommen Treppenkurven entsprechen. Die als Ordinatenmaßstab für a und z angegebenen Zahlenwerte beziehen sich bei Bild 6 wie auch bei allen anschließenden Bildern mit zeitlichen Darstellungen von a und z somit stets jeweils auf den Zeitabschnitt eines Monats.

Zunächst kann festgestellt werden, daß d_a und d_{az} auch in Perioden starker Zu- oder Abnahme der mittleren Wartezeit annähernd gleiche Ergebnisse liefern. Das bestätigt die Annahme, daß die exponentielle Verteilung der Wartezeiten nie stark gestört wurde. Im einzelnen ist zur Entwicklung der mittleren Wartezeit folgendes zu bemerken:

Mit dem Wiedererstehen der deutschen Wirtschaft nach dem Krieg, insbesondere aber nach der Währungsreform von 1948, staute sich eine große Nachfrage nach Hauptanschlüssen, der als Kriegsfolge vorerst nur ein beschränktes Angebot gegenüberstand. Das Angebot wurde aber Zug um Zug vergrößert, so daß die mittlere Wartezeit von rd. 13 Monaten im Jahre 1950, fast einer Parabel folgend, bis auf nahezu 2 Monate in den Jahren 1956/1957 zurückging. Der vorübergehende, leichte Anstieg der mittleren Wartezeit in den Jahren 1953/1954 hängt mit einer Gebührenerhöhung zum 1. 7. 1954 und wohl mit der Korea-Krise, geringfügig aber auch mit der Einbeziehung der Landespostdirektion Berlin in die allgemeine Statistik der Deutschen Bundespost zusammen. Der etwa 1958 einsetzende steile Konjunkturaufschwung brachte eine neue kräftige Nachfragewelle, der das Angebot nicht zu folgen vermochte. So wurde 1962 ein neues Maximum der mittleren Wartezeit mit rd. 10 Monaten erreicht. Dann setzte infolge ständig weiter vergrößerten Angebotes ein systematischer Abbau ein, etwas flacher als in der ersten Hälfte der 50er Jahre und begünstigt durch die Nachfragerückgänge und -stagnationen infolge der Gebührenänderungen in den Jahren 1963 und 1964. Im Jahre 1966 betrug die mittlere Wartezeit noch 7 Monate.

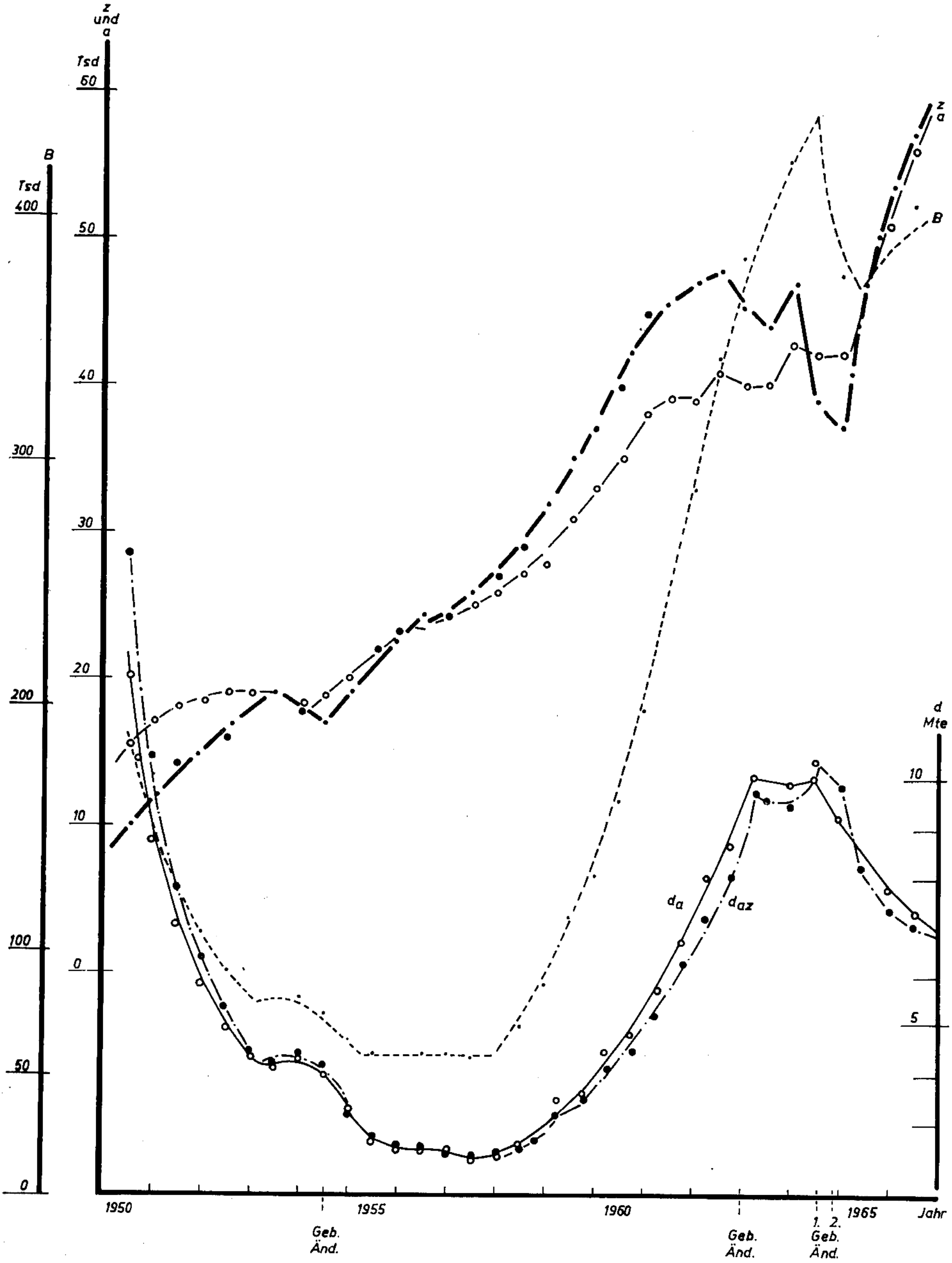


Bild 6. Die mittlere Wartezeit auf Einrichtung von Fernsprechhauptanschlüssen von 1950 bis 1966 im Zusammenhang mit der Nachfrage- und Angebotsentwicklung und den jeweiligen Beständen an unerledigten Anträgen

z = Neuanträge
a = Neueinrichtungen
B = Bestand an unerledigten Anträgen
d = mittlere Wartezeit

Ob und in welchem Umfang dieser Abwärtstrend anhalten wird, kann nur unter Einbeziehung einer Reihe von weiteren Faktoren beurteilt werden (Abschnitt V.5.).

Es mag auffallen, daß im Jahre 1954 der Nachfragerückgang infolge der Gebührenerhöhung einen Anstieg der mittleren Wartezeit bedingte, die Gebührenerhöhungen der Jahre 1963 und 1964 dagegen ein Fallen der mittleren Wartezeit bewirkten. Dieser scheinbare Widerspruch ist so zu erklären, daß das Angebot in den fraglichen Zeiten auf die sich ändernde Nachfrage verschieden reagierte. Im Jahre 1954 paßte sich das Angebot der Nachfrageänderung in hohem Maße an; in den Jahren 1963 und 1964 folgte es dem Nachfragerückgang nur sehr träge, so daß im Endeffekt die mittlere Wartezeit nahezu konstant blieb bzw. sogar zurückging.

3. Die funktionalen Zusammenhänge von Angebot, Nachfrage, Bestand an unerledigten Anträgen und mittlerer Wartezeit und die Berechnung langfristiger Trends für die Zeit von 1950 bis 1966

Im Anhang I wurde der Zusammenhang von Neuanträgen Z, Neueinrichtungen A, Bestand B an unerledigten Anträgen, mittlerer Wartezeit d und Durchschnittsbestand $B_\varnothing$ entwickelt:

$$B_t = B_0 + Z_t - A_t \text{ und } d = \frac{B_\varnothing}{a}.$$

Den dortigen Überlegungen lagen überwiegend statische Modelle zugrunde, die eine Berechnung von Punkt zu Punkt (z. B. von Monatsletzten zu Monatsletzten) erforderlich machen.

Wenn es nun möglich wäre, die Neuanträge Z und die Neueinrichtungen A als Funktionen der Zeit t darzustellen, dann könnte man auch den Bestand der unerledigten Anträge B als Funktion der Zeit ausdrücken.

Es gilt

$$B_1 = B_0 + Z_1 - A_1$$

$$B_2 = B_1 + Z_2 - A_2 = B_0 + Z_1 - A_1 + Z_2 - A_2 = B_0 + \sum_{i=1}^{2}(Z_i - A_i)$$

$$B_n = B_0 + \sum_{i=1}^{n}(Z_i - A_i)$$

oder (wenn die Summe näherungsweise durch das Integral ersetzt wird, um von diskreten Werten von A und Z zu stetigen Zeitfunktionen von a und z zu gelangen)

$$B(t) = B_0 + \int [z(t) - a(t)]\, dt\,.$$

Mit Hilfe der Bestandsfunktion und der Funktion der Neueinrichtungen kann auch die Funktion der mittleren Wartezeit gewonnen werden:

$$d(t) = \frac{B(t)}{a(t)} = \frac{B_0 + \int [z(t) - a(t)]\, dt}{a(t)}\,.$$

Als Beispiel sei die Entwicklung seit 1950 (wenn auch sehr vereinfacht, indem die durch gebührenpolitische Maßnahmen gestörten Zeit reihenstücke eliminiert wurden) in längerfristigen Trends dargestellt [4].

Sie folgen den Funktionen

$$z = 14091{,}3277 - 75{,}1188\,t + 3{,}4219\,t^2 - 0{,}0095\,t^3$$

und

$$a = 9427{,}5318 + 172{,}5973\,t + 0{,}4026\,t^2 - 0{,}0012\,t^3$$

(für Ende Januar 1950: $t = 1$, für Ende Februar 1950: $t = 2$ usw.)[1].

Die zugehörige Funktion des Bestandes der unerledigten Anträge hat folgende Form:

$$\begin{aligned} B(t) = B_0 + \int [& (14091{,}3277 - 75{,}1188\,t + 3{,}4219\,t^2 - \\ & - 0{,}0095\,t^3) - (9427{,}5318 + 172{,}5973\,t + \\ & + 0{,}4026\,t^2 - 0{,}0012\,t^3)]\,dt = \\ = B_0 + \int & (4663{,}7959 - 247{,}7161\,t + 3{,}0193\,t^2 - 0{,}0083\,t^3)\,dt = \\ = B_0 + & \; 4663{,}7959\,t - 123{,}8580\,t^2 + 1{,}0064\,t^3 - 0{,}0020\,t^4\,. \end{aligned}$$

Bild 7 zeigt die Trends dritten Grades der Neuanträge (= Zugänge an Anträgen) z, der Neueinrichtungen (= Abgänge an Anträgen) a und des Bestandes der unerledigten Anträge B.

Im vorliegenden Modellfall konnte als Anfangsbestand B_0 nicht der Bestand an unerledigten Anträgen zu Beginn des Jahres 1950 eingesetzt werden, da wegen der Eliminierung der gestörten Zeitreihenwerte Anfang und Ende der zu den Ausgangsfunktionen $z(t)$ und $a(t)$ gehörenden Kurven nicht gut mit der Wirklichkeit übereinstimmen. Es wurde daher von der Annahme ausgegangen, daß im Schnittpunkt der Kurven der beiden Ausgangsfunktionen gegen Ende 1956 der niedrigste Bestand an unerledigten Anträgen erreicht war. Der tatsächlich niedrigste Bestand lag bei rd. 56 000 unerledigten Anträgen. Der Schnittpunkt der beiden Ausgangsfunktionen wurde durch Gleichsetzen der Funktionen und Auflösung nach t bei $t \approx 82$ ermittelt. Nach

$$B_0 = B_{82} - 4663{,}7959 \cdot 82 + 123{,}8580 \cdot 82^2 - 1{,}0064 \cdot 82^3 + 0{,}0020 \cdot 82^4$$

beträgt der Anfangsbestand Anfang 1950 41 918 unerledigte Anträge. Folglich konnte die Bestandskurve nach

$$B(t) = 41918 + 4663{,}7959\,t - 123{,}8580\,t^2 + 1{,}0064\,t^3 - 0{,}0020\,t^4$$

berechnet und in Bild 7 eingezeichnet werden. Aus der Bestandsfunktion $B(t)$ und der Funktion der Neueinrichtungen $a(t)$ kann schließlich die Funktion der mittleren Wartezeit $d(t)$ gebildet werden:

$$d(t) = \frac{B(t)}{a(t)} = \frac{41918 + 4663{,}7959\,t - 123{,}8580\,t^2 + 1{,}0064\,t^3 - 0{,}0020\,t^4}{9427{,}5318 + 172{,}5973\,t + 0{,}4026\,t^2 - 0{,}0012\,t^3}$$

Ebenso wie die Trendkurven für die Neuanträge und die Neueinrichtungen geben auch diese Trendkurven des Bestandes der unerledigten Anträge und der mittleren Wartezeit bis auf die ersten 2 bis 3 Jahre

---

[1] Sie wurden mit der Methode der kleinsten Quadrate aus einer Reihe von Jahres-Wertepaaren berechnet und dann durch Einsetzen von Monats-Zeitwerten zu Monats-Trends umgerechnet. Die zugehörigen Jahrestrends folgen den Funktionen

$$z = 14\,012 - 855\,t + 485\,t^2 - 16\,t^3 \quad \text{und} \quad a = 9428 + 2071\,t + 58\,t^2 - 2\,t^3$$

(gerundet; für Ende 1950: $t = 1$, für Ende 1951: $t = 2$ usw.).

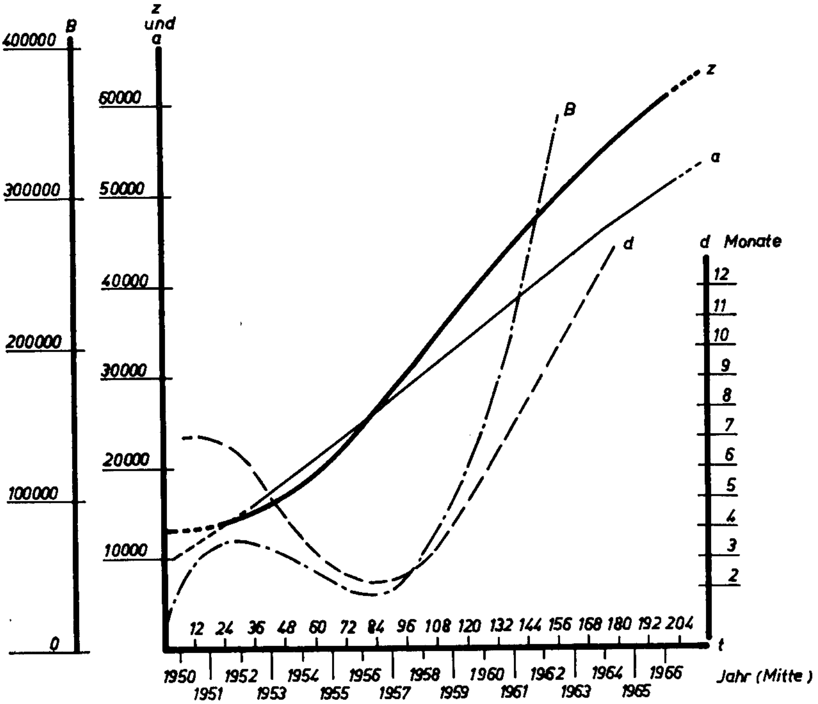


Bild 7. Die längerfristige Entwicklung der Nachfrage nach neuen Hauptanschlüssen, des Angebotes an Neueinrichtungen (in Trends dritten Grades), des Bestandes an unerledigten Anmeldungen (im Trend vierten Grades) und der daraus sich ergebenden mittleren Wartezeit

z = Neuanträge
a = Neueinrichtungen
B = Bestand an unerledigten Anträgen
d = mittlere Wartezeit

und die letzten 4 Jahre des Beobachtungszeitabschnittes die tatsächliche Entwicklung ausreichend gut wieder.

Weiter läßt die Betrachtung der aus der Praxis vorliegenden Zeitreihen in dem Zeitabschnitt 1950 bis 1966 erkennen, daß die Entwicklung, sofern sie nicht durch Gebührenänderungen gestört wurde, kontinuierlich war. Eine kontinuierliche Entwicklung erlaubt, den Entwicklungstrend aus den Beobachtungswerten einiger Jahre der Vergangenheit so genau zu berechnen, daß er ohne nennenswertes Fehlerrisiko für einige Jahre in die Zukunft extrapoliert werden kann.

Längerfristige Extrapolationen (= längerfristige Prognosen) sind dagegen nur dann ohne größeres Fehlerrisiko möglich, wenn in die Berechnung auch die Entwicklungstrends anderer volkswirtschaftlicher Zeitreihen, die den Fernsprechdienst irgendwie beeinflussen, einbezogen werden. In der Regel wird in diesem Falle das Wachstum des Volkseinkommens in Beziehung gesetzt zur Zunahme des Bestandes an Fernsprechstellen. Anstelle des in manchen Ländern nur mit Schwierigkeiten feststellbaren Volkseinkommens verwendet A. Jipp [5] das geometrische

Mittel von leichter meßbaren, charakteristischen Größen (Kraftfahrzeuge, beförderte Briefe, Elektrizitätserzeugung). Der Vergleich der Wachstumsrate dieses „Quasi-Volkseinkommens“ mit der der Sprechstellenzahl führt zu dem Schluß, daß letztere langfristig etwa doppelt so groß ist wie erstere. Es muß hier jedoch betont werden, daß es sich dabei um eine empirische Erkenntnis handelt, die überdies nur langfristig (z. B. für 10-Jahresabschnitte) gültig ist.

Nach der Untersuchung der Zusammenhänge zwischen der Nachfrage nach Fernsprechhauptanschlüssen, dem Angebot an Anschlußmöglichkeiten, dem Bestand an unerledigten Anträgen und der mittleren Wartezeit kann man zu folgenden Schlüssen kommen:

a) Der Trend der Nachfrage nach neuen Hauptanschlüssen ist — sofern die Entwicklung nicht durch gebührenpolitische Maßnahmen gestört ist — genügend genau berechenbar und in der Regel für eine gewisse Zeit extrapolierbar (= Nachfrageprognose).

b) Der Bestand an unerledigten Anträgen steht in funktionalem Zusammenhang mit dem Nachfragetrend und dem Trend der Neueinrichtungen. Soll also der Bestand an unerledigten Anträgen auf einem gewissen Niveau festgehalten werden, so ist der hierzu notwendige Trend für die erforderlichen Neueinrichtungen (= Soll) berechenbar.

c) Die mittlere Wartezeit steht in funktionalem Zusammenhang mit dem Bestand an unerledigten Anträgen und dem Trend der Neueinrichtungen. Soll also die mittlere Wartezeit ein gewisses Niveau nicht über- oder unterschreiten, so ist aus dem Trend der Nachfrage nach neuen Hauptanschlüssen und der festgelegten mittleren Wartezeit die Sollentwicklung der Neueinrichtungen berechenbar.

V. Analyse der Zeitreihen für charakteristische Zeitabschnitte und Prognosebetrachtungen

1. 1950 bis Mitte 1952

Die Entwicklung war in diesem Zeitabschnitt ungestört (Bild 8). Die Neuanträge lagen im Mittel um 20 % unter den Neueinrichtungen, näherten sich diesen aber allmählich. Der Bestand an unerledigten Anträgen konnte dadurch um rd. 50 % abgebaut werden. Folglich ging die mittlere Wartezeit in diesem Zeitabschnitt von mehr als 14 Monaten auf rd. 5 Monate, also um rd. 65 % zurück. Dieser starke Rückgang der mittleren Wartezeit innerhalb relativ kurzer Zeit wurde weniger dadurch erreicht, daß das Angebot durch besonders große vorausgegangene Erweiterungsinvestitionen erhöht worden war, als vielmehr durch den Umstand ermöglicht, daß das Fernmeldenetz aus der Kriegs- und Vorkriegszeit nach dem Zusammenbruch trotz erheblicher Kriegszerstörungen noch viele intakte Teilanlagen aufwies, die mit geringen Ergänzungsinvestitionen in diesen ersten Jahren des wirtschaftlichen Wiederaufbaus nach und nach wieder genutzt werden konnten. Diese Überlegung wird auch durch die Tatsache bestätigt, daß die Fernsprechdichte im Bundesgebiet erst gegen Ende 1953 die im Deutschen Reich schon 1942 vorhandene Fernsprechdichte (von 6,7 Sprechstellen pro 100 Einwohner) wieder erreichte und dann überschritt.

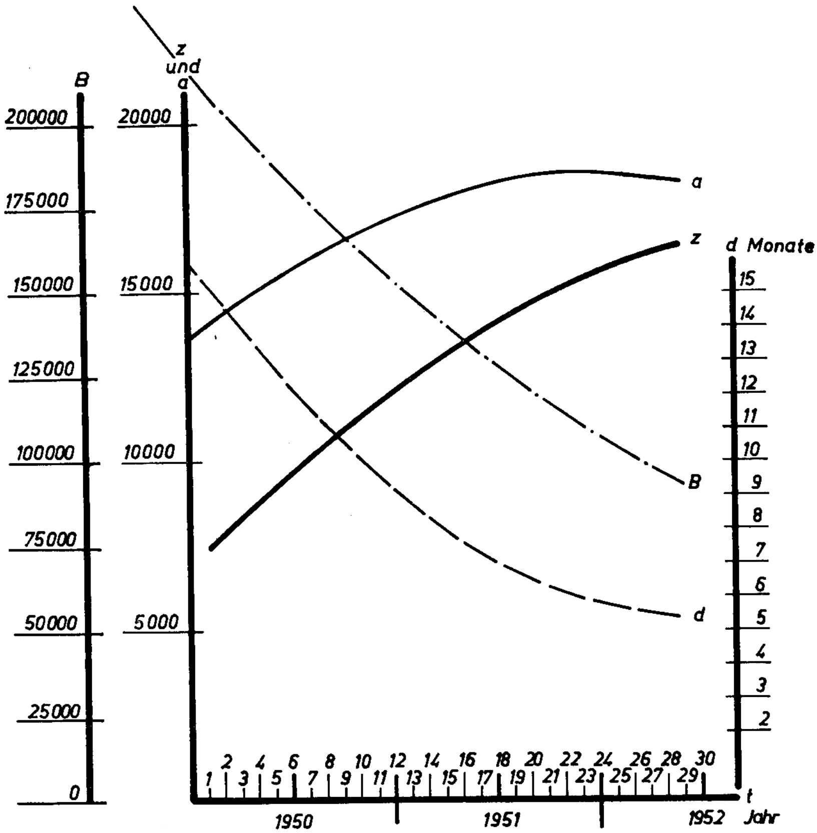


Bild 8. Die Entwicklung (Fernsprechhauptanschlüsse: Anträge, Neueinrichtungen, unerledigte Anträge, mittlere Wartezeit) von 1950 bis Mitte 1952

z = Neuanträge
a = Neueinrichtungen
B = Bestand an unerledigten Anträgen
d = mittlere Wartezeit

$z = 7212 + 492 \cdot t - 6 \cdot t^2$

$a = 13\,324 + 406 \cdot t - 8 \cdot t^2$

$B = 219\,085 - 6112 \cdot t + 43 \cdot t^2 + 2/3\, t^3$

2. Mitte 1952 bis Mitte 1956

Dieser Zeitabschnitt ist durch außergewöhnliche Ereignisse gekennzeichnet (Bild 9).

Nach fast normaler Entwicklung der Nachfrage bis Ende 1953 machten sich bereits in der ersten Hälfte des Jahres 1954 die Frühwirkungen der zum 1. 7. 1954 geplanten Gebührenänderungen in Form eines leichten Nachfragerückgangs bemerkbar. Auch das Angebot stagnierte, offenbar infolge des durch den Korea-Krieg ausgelösten Mangels an Buntmetallen und des aus dem gleichen Grunde entstandenen Auftragsüberhanges der Fernmelde- und Fernmeldezulieferer-Industrie.

Während die Nachfrage bis Ende 1953 fast linear anstieg, blieb das Angebot an Neueinrichtungen von Mitte 1952 bis Ende 1953 nahezu konstant.

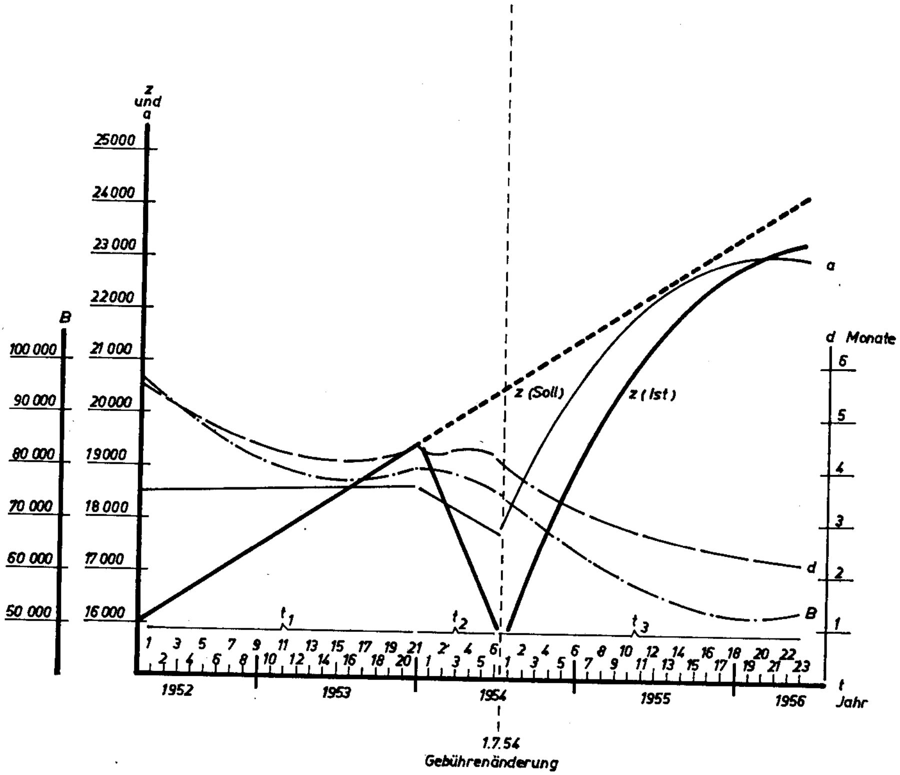


Bild 9. Die Entwicklung (Fernsprechhauptanschlüsse: Anträge, Neueinrichtungen, unerledigte Anträge, mittlere Wartezeit) von 1952 bis Mitte 1956 und die wahrscheinliche Entwicklung der Nachfrage, wenn Mitte 1954 keine Gebührenänderung stattgefunden hätte (ab 1955 einschl. Berlin)

z = Neuanträge
z (Soll) = Neuanträge (trendextrapoliert)
z (Ist) = tatsächliche Neuanträge

a = Neueinrichtungen
B = Bestand an unerledigten Anträgen
d = mittlere Wartezeit

$z_1 = 16\,012 + 168\,t_1$;
$a_1 = 18\,541 + 10\,t_1$
$B_1 = 98\,530 - 2529\,t_1 + 79\,t_1^2$

$z_2\,(\text{Soll}) = 19\,540 + 168\,t_2$
$z_2\,(\text{Ist}) = 19\,025 - 553\,t_2$
$a_2 = 19\,965 - 1071 \cdot t_2 + 119\,t_2^2$
$B_2 = 80\,260 - 913\,t_2 + 259\,t_2^2 - 39{,}7\,t_2^3$

$z_3\,(\text{Soll}) = 20\,548 + 168\,t_3$
$z_3\,(\text{Ist}) = 15\,227 + 700\,t_3 - 15\,t_3^2$
$a_3 = 17\,775 + 531\,t_3 - 13\,t_3^2$
$B_3 = 75\,531 - 2548\,t_3 + 84{,}5\,t_3^2 - 2/3\,t_3^3$

Ab Januar 1954 ging die Nachfrage zurück, erreichte ihr Minimum Mitte 1954 und stieg dann langsam wieder an, um Mitte 1956 den alten Trend fast wieder zu erreichen. In der gleichen Form, allerdings etwas schwächer, reagierte das Angebot.

Seit 1. 1. 1955 enthalten die Beobachtungswerte auch die Zahlen der Landespostdirektion Berlin. Insofern ist die Vergleichbarkeit der Zahlenreihen vor und nach diesem Zeitpunkt beeinträchtigt. Daß die Reihen durch die Einbeziehung der Landespostdirektion Berlin beeinflußt sein müssen, geht schon daraus hervor, daß im Bundesgebiet (ohne Berlin) im Jahre 1955 im Verhältnis zu den Neueinrichtungen rd. 20 % unerledigte Anmeldungen verblieben, in Berlin dagegen nur weniger als 5 %. Dies ist insofern nicht bedeutungslos, als die Neueinrichtungen des genannten Jahres in Berlin rd. 8 % der gesamten Neueinrichtungen des Bundesgebietes (einschließlich Berlin) ausmachten. Leider liegen für die Landespostdirektion Berlin keine Monatszahlen mehr vor, so daß die Zahlen für das übrige Bundesgebiet nicht mehr isoliert werden können.

Aus diesem Grunde kann auch der Verlust an Anträgen infolge der Gebührenerhöhung zum 1. 7. 1954 nur ungefähr abgeschätzt werden. Die Abschätzung geht so vor sich, daß man den Nachfragetrend der Zeit vor der Gebührenänderung, soweit er nicht schon durch die Frühwirkung der geplanten Gebührenänderung beeinflußt ist, extrapoliert bis zu dem Zeitpunkt, in dem die tatsächliche Nachfrage nach der Gebührenänderung diesen Trend wieder erreicht, die Trendfunktion über die extrapolierte Strecke integriert, damit also die Soll-Nachfrage für diesen Zeitabschnitt gewinnt, und davon die tatsächliche Nachfrage dieses Zeitabschnittes abzieht. Die tatsächliche Nachfrage kann ebenfalls über die Integration der — kurzfristigen — Nachfragetrends ermittelt werden. Im vorliegenden Fall mußte mit zwei Funktionenpaaren gearbeitet werden (Bild 9).

$$\int_0^6 z_2\,(\mathrm{Soll})\,dt_2 - \int_0^6 z_2\,(\mathrm{Ist})\,dt_2 + \int_0^{24} z_3\,(\mathrm{Soll})\,dt_3 - \int_0^{24} z_3\,(\mathrm{Ist})\,dt_3 =$$

$$= \int_0^6 (19\,540 + 168\,t_2)\,dt_2 - \int_0^6 (19\,052 - 553\,t_2)\,dt_2 +$$

$$+ \int_0^{24} (20\,548 + 168\,t_3)\,dt_3 - \int_0^{24} (15\,227 + 700\,t_3 - 15\,t_3^2)\,dt_3 =$$

= 60 114 Stück, das sind 9 % der Sollnachfrage von 662 400 Anträgen der Zeit vom 1. 1. 54 bis 30. 6. 56 (t-Maßstab für Ende Jan. 1954: $t_2 = 1$, für Ende Febr. 1954: $t_2 = 2$ usw., für Ende Juli 1954: $t_3 = 1$, für Ende August 1954: $t_3 = 2$ usw.).

Im gesamten Beobachtungszeitabschnitt lag die Zahl der monatlichen Neueinrichtungen bis auf wenige Monate über der Zahl der Neuanträge. Der Bestand der unerledigten Anträge ging von rd. 90 000 auf rd. 60 000, die mittlere Wartezeit von rd. 5 Monaten auf rd. 2,3 Monate zurück.

Bemerkenswert ist, daß die Nachfrage auf die zum 1. 7. 1954 geplante Gebührenerhöhung bereits mehrere Monate vorher rückläufig reagierte, weil die Gebührenerhöhung einige Monate vorher in der Presse angekündigt worden war. Etwa im Zeitpunkt der Gebührenerhöhung hatte die Nachfrage ihr Minimum erreicht. Das dann folgende erneute Hinstreben zum alten Trend nahm 1½ Jahre in Anspruch; eine Erscheinung, wie sie ähnlich auch auf anderen Gebieten des Post- und Fernmeldedienstes im In- und Ausland beobachtet wird [6].

3. Mitte 1956 bis Mitte 1961

In diesem Zeitabschnitt kam es zweimal zu geringfügigen Trendbrüchen (Frühjahr 1958 und Mitte 1959, Bild 10). Der erste Trendbruch ist auf die Einführung des Fernmeldesonderbauprogrammes 1956/57 und eine damit verbundene Kürzung der zivilen Investitionen zurückzuführen. Quantitativ wirkten sich die beiden Trendbrüche auf die Entwicklung des Bestandes an unerledigten Anträgen und der mittleren Wartezeit nur geringfügig aus.

Bis zum ersten Trendbruch im Jahre 1958 blieb der Bestand an unerledigten Anträgen mit rd. 60 000 nahezu konstant. Die mittlere Wartezeit bewegte sich zwischen rd. 2,3 und 2,5 Monaten.

Mitte 1957 scherten Angebot und Nachfrage auseinander. Die Nachfrage nach Neueinrichtungen lag von da an nicht nur ständig über dem Angebot an Neueinrichtungen, sie stieg darüber hinaus auch steiler an. Mit einer Verzögerung von etwa 6 Monaten begann dann im Jahre 1958 der progressive Aufstau der unerledigten Anträge. In 4 Jahren (1958 bis 1961) verfünffachte sich der Bestand an unerledigten Anträgen und erreichte eine Höhe von fast 300 000. Die mittlere Wartezeit erreichte Mitte 1961 eine Höhe von mehr als 6 Monaten.

4. Mitte 1961 bis Ende 1966

In diesem Zeitabschnitt fanden drei Gebührenänderungen statt (1. 1. 1963, 1. 8. 1964 und 1. 12. 1964, Bild 11). Während die beiden ersten Gebührenänderungen Gebührenerhöhungen waren, nahm die dritte Gebührenänderung die Gebührenerhöhung vom 1. 8. 1964 teilweise zurück.

Während Gebührenänderungen üblicherweise dankenswerte Studienobjekte für Zeitreihenuntersuchungen darstellen, kann dieser Zeitabschnitt nur relativ allgemeine Erkenntnisse vermitteln. Das hat folgende Gründe:

a) Bis Ende 1962 liegen z. T. nur Halbjahreszahlen für Neueinrichtungen und Neuanträge vor. Die Funktionen der Neuanträge und der Neueinrichtungen mußten aus Halbjahresdurchschnitten und aus der Bestandsfunktion der unerledigten Anträge gewonnen werden. Folglich kann nicht genügend genau erkannt werden, wann der Nachfragerückgang im Hinblick auf die zum 1. 1. 1963 geplante Gebührenänderung einsetzte.

b) Die Auswirkungen der Gebührenänderung zum 1. 1. 1963 waren offensichtlich noch nicht vollständig überwunden, als die Nachfrage bereits auf die zum 1. 8. 1964 geplante Gebührenänderung reagierte. Schon vier Monate nach dieser letztgenannten Gebührenerhöhung

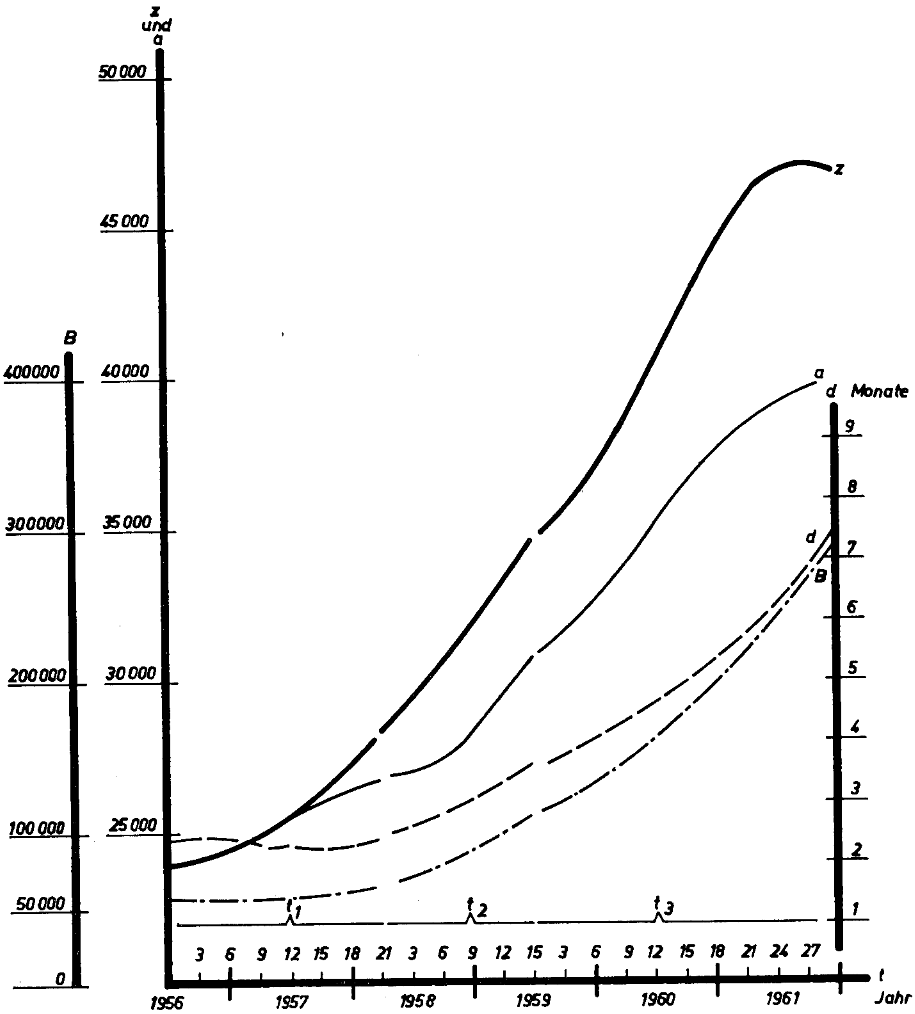


Bild 10. Die Entwicklung (Fernsprechhauptanschlüsse: Anträge, Neueinrichtungen, unerledigte Anträge, mittlere Wartezeit) von Mitte 1956 bis 1961

z = Neuanträge

a = Neueinrichtungen

B = Bestand an unerledigten Anträgen

d = mittlere Wartezeit

$$z_1 = 24\,013 - 8 \cdot t_1 + 12{,}2 \cdot t_1^2 - 0{,}11 \cdot t_1^3$$
$$a_1 = 23\,861 + 22{,}2 \cdot t_1 + 13{,}8 \cdot t_1^2 - 0{,}4 \cdot t_1^3$$
$$B_1 = 57\,660 + 152 \cdot t_1 - 15{,}1 \cdot t_1^2 - 0{,}53 \cdot t_1^3 + 0{,}07 \cdot t_1^4$$
$$z_2 = 28\,206 + 373{,}8 \cdot t_2 + 2{,}63 \cdot t_2^2$$
$$a_2 = 26\,739 + 7{,}0 \cdot t_2 + 17{,}9 \cdot t_2^2$$
$$B_2 = 63\,766 + 1467 \cdot t_2 + 183{,}4 \cdot t_2^2 - 5{,}09 \cdot t_2^3$$
$$z_3 = 34\,647 + 156{,}6 \cdot t_3 + 40{,}4 \cdot t_3^2 - 1{,}07 \cdot t_3^3$$
$$a_3 = 30\,932 + 189 \cdot t_3 + 19{,}2 \cdot t_3^2 - 0{,}54 \cdot t_3^3$$
$$B_3 = 108\,923 + 3715 \cdot t_3 - 16{,}2 \cdot t_3^2 + 7{,}07 \cdot t_3^3 - 0{,}132 \cdot t_3^4$$

wurden die Gebühren wieder um einen Teil der vorhergegangenen Erhöhung gesenkt. Ob der Nachfrageeinbruch infolge der Gebührenerhöhung vom 1. 8. 1964 bereits überwunden war, als Mitte 1966 die wirtschaftliche Konjunktur ganz allgemein etwas abzubröckeln begann und möglicherweise auch die Nachfrage nach Neueinrichtungen beeinflußte, kann nicht als sicher unterstellt werden, obwohl vieles dafür spricht.

c) Die verhältnismäßig große Zahl schnell aufeinander folgender Trendänderungen erlaubte nur kurzfristige Trends zu berechnen, die — trotz Anwendung gleitender 3-Monats-Durchschnitte — teilweise nicht frei von Saisoneinflüssen sind. Folglich ging der funktionale Zusammenhang zwischen Neuanträgen, Neueinrichtungen und Bestand an unerledigten Anträgen etwas verloren. Darunter leidet auch — wenn auch nur geringfügig (d. h. um Zehntelmonate) — die Genauigkeit der mittleren Wartezeit.

Von Mitte 1961 bis Ende 1962 lagen die Neuanträge erheblich über den Neueinrichtungen. Infolgedessen stieg der Bestand an unerledigten Anträgen weiter steil an (von rd. 290 000 auf rd. 390 000). Die mittlere Wartezeit stieg von 7,5 Monaten auf rd. 10 Monate.

Wahrscheinlich bereits in der zweiten Hälfte des Jahres 1962 fiel die Nachfrage — gefolgt vom Angebot — leicht und seit Januar 1963 (Gebührenänderung) stark ab. Der Rückgang hielt bis etwa Mai 1963 an. Da aber das Angebot an Neueinrichtungen dem Nachfragerückgang in etwas schwächerem Ausmaße folgte, stieg der Bestand an unerledigten Anträgen nicht mehr so steil weiter. Folglich ging auch die mittlere Wartezeit nur noch schwach — bis auf etwas mehr als 10,5 Monate — in die Höhe.

Mitte 1963 begann die Nachfrage sich zu erholen. Sie stieg bis in die ersten Monate des Jahres 1964 hinein kräftig an und zog — abgeschwächt — das Angebot nach sich. Das nur zögernde Folgen des Angebotes trieb den Bestand an unerledigten Anträgen weiter progressiv in die Höhe (bis auf rd. 450 000 Stück). Die mittlere Wartezeit dagegen kam bei etwa 10 Monaten zum Stagnieren.

Seit April 1964, als die für den Sommer geplante große Gebührenerhöhung in das Gespräch kam, begann die Nachfrage sehr steil — um rd. 40 % bis etwa September 1964 — abzusinken. Das Angebot dagegen folgte, wie nicht anders zu erwarten (vgl. Abschnitt III.3.D.), nur verhältnismäßig schwach nach. Das führte zu einem kräftigen Abbau im Bestand der unerledigten Anträge. In 5 Monaten verminderte sich die Zahl der unerledigten Anträge um 40 000. Diese starke Abnahme hielt noch an, als die Nachfrage sich seit etwa November 1964 fast ebenso kräftig erholte, wie sie vorher zurückgegangen war. Von der Mitte der zweiten Hälfte des Jahres 1964 bis zu den ersten Monaten des Jahres 1965 fiel die mittlere Wartezeit von rd. 10 Monaten auf rd. 8 Monate.

In der ersten Hälfte des Jahres 1965 kam es nochmals zu einem kleinen Nachfragerückgang, der sich allerdings in Bild 11 wegen nicht ganz auszuschließender Saisoneinflüsse zu stark ausgeprägt darstellt, und dann zu einer kontinuierlichen Nachfrageerholung bis auf das

Niveau des extrapolierten Trends, wie er aus der Nachfragebewegung in den Jahren 1960/1961 berechnet werden kann. Das Angebot folgte in diesem letzten Zeitabschnitt durchweg nicht so kräftig, daß der Bestand an unerledigten Anträgen bei der stark steigenden Nachfrage auf dem Anfang 1965 erreichten Niveau hätte gehalten werden können, aber kräftig genug, um die mittlere Wartezeit von rd. 9 Monaten auf rd. 7 Monate herabzudrücken.

(Für die letzten Monate des Jahres 1966 sind die Trendkurven infolge der Nachfragereaktion auf die Konjunkturdämpfungsmaßnahmen der Deutschen Bundesbank noch nicht genügend aussagefähig.)

5. Prognose für 1967 und 1968

In Zeiten erst wenige Monate anhaltenden Konjunkturrückganges Prognosen zu stellen, ist unbestritten schwierig. Aber dank genügend gut fundierter wirtschaftspolitischer Erkenntnisse und dem von der Bundesregierung erklärten Ziel einer annähernden Vollbeschäftigung ist zu erwarten, daß der z. Z. noch anhaltende leichte Konjunkturrückgang bald abgefangen und die seit Ende 1964 anhaltende längerfristige Entwicklung der Nachfrage nach neueinzurichtenden Fernsprechhauptanschlüssen — nur wenig gestört — andauern wird. Aber selbst wenn die tatsächliche Entwicklung in Zukunft anders verlaufen wird als die Prognose erwarten läßt, werden die nachfolgenden Ausführungen nicht wertlos sein, denn der extrapolierte Trend einer längerfristigen Entwicklung erlaubt — wie noch auszuführen sein wird — viel früher, einen etwa veränderten neuen — zumeist kurzfristigen — Trend zu bestimmen, als dies über die veränderten neuen Beobachtungswerte selbst möglich wäre. Von der möglichst frühzeitigen Kenntnis des Nachfragetrends aber hängen bis zu einem gewissen Grad die Angebotsdispositionen ab.

Um diese Zusammenhänge möglichst wirklichkeitsnah darstellen zu können, wurden aus den Monatszahlen der Neuanträge (seit Ende 1964) gleitende 3-Monats-Durchschnitte und aus diesen die logarithmische Ausgleichskurve berechnet. Sie folgt der Funktion

$$z = -21\,146 + 52\,744 \log t$$

(Ende Januar 1964: $t = 1$, Ende Februar 1964: $t = 2$ usw.).

Entsprechend wurde die für die Gegenwart gültige Angebotsfunktion aus den Monatswerten und den daraus gebildeten gleitenden 3-Monats-Durchschnitten seit Mitte 1965 berechnet. Sie hat die Form

$$a = -32\,532 + 60\,009 \log t.$$

Die Kurven der beiden Funktionen wurden bis Ende 1968 extrapoliert (Bild 12).

Aus der Beziehung

$$B(t) = B_0 + \int z(t)\,dt - \int a(t)\,dt$$

konnte die Bestandsfunktion der unerledigten Anträge gewonnen werden:

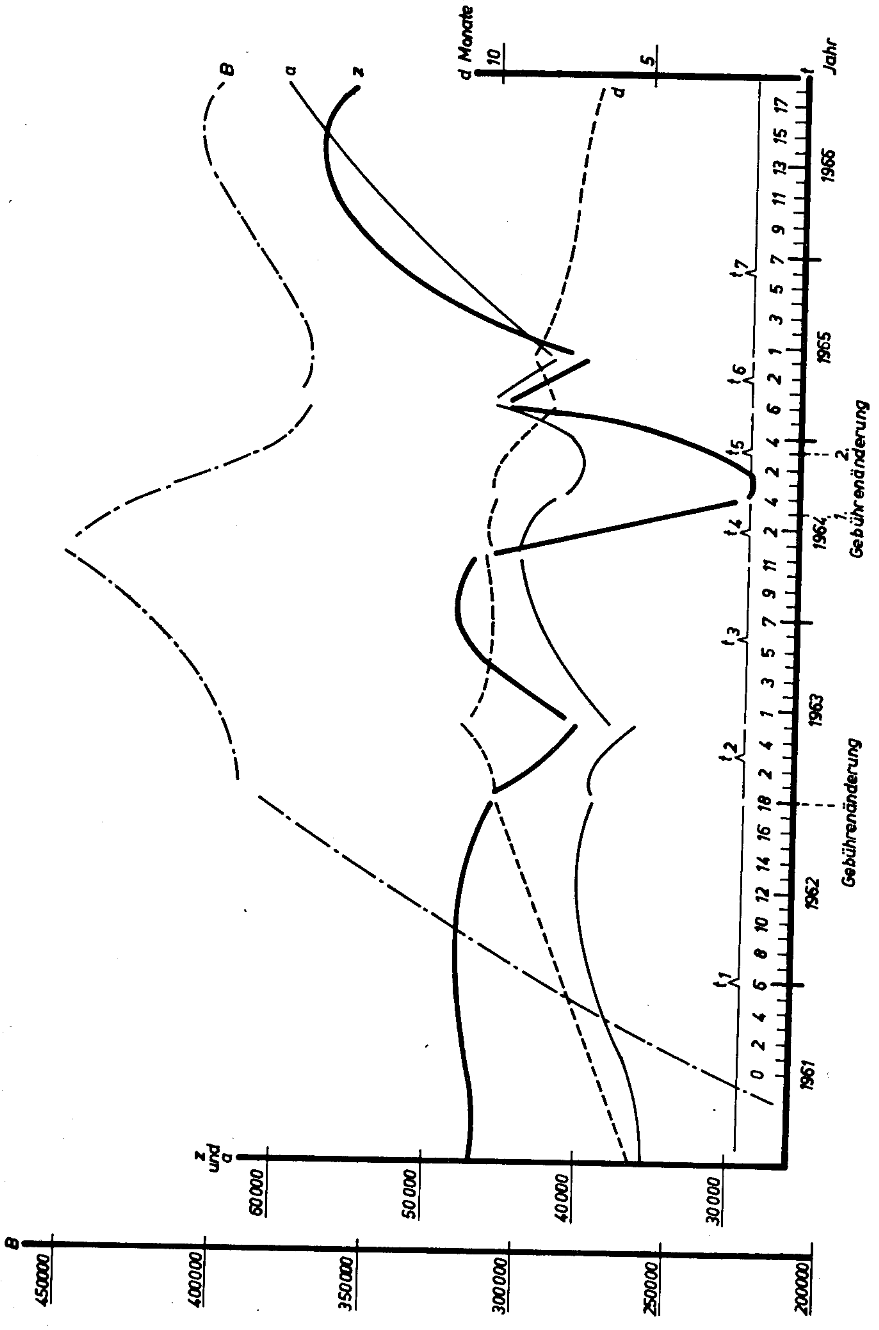

B
a
z
d
d Monate
10
5
t
Jahr
z und a
60000
50000
40000
30000
B
450000
400000
350000
300000
250000
200000
0 2 4 6 8 10 12 14 16 18 2 4 1 3 5 7 9 11 2 4 2 4 6 2 1 3 5 7 9 11 13 15 17
1961
1962
1963
1964
1965
1966
t1
t2
t3
t4
t5
t6
t7
Gebührenänderung
1. Gebührenänderung
2. Gebührenänderung

Bild 11. Die Entwicklung (Fernsprechhauptanschlüsse: Anträge, Neueinrichtungen, unerledigte Anträge, mittlere Wartezeit) von 1961 bis 1966

z = Neuanträge

a = Neueinrichtungen

B = Bestand an unerledigten Anträgen

d = mittlere Wartezeit

$z_1 = 47\,191 + 131{,}2 \cdot t_1 + 8{,}14 \cdot t_1^2 - 1{,}075 \cdot t_1^3$

$a_1 = 37\,277 + 306{,}7 \cdot t_1 + 8{,}14 \cdot t_1^2 - 1{,}075 \cdot t_1^3$

$B_1 = 236\,235 + 9914 \cdot t_1 - 90 \cdot t_1^2$

$z_2 = 45\,740 - 1661 \cdot t_2 + 107 \cdot t_2^2$

$a_2 = 39\,430 + 449 \cdot t_2 - 218 \cdot t_2^2$

$B_2 = 380\,347 + 2533 \cdot t_2 + 114 \cdot t_2^2$

$z_3 = 40\,631 + 1861{,}6 \cdot t_3 - 111{,}55 \cdot t_3^2$

$a_3 = 37\,923 + 967{,}9 \cdot t_3 - 36{,}55 \cdot t_3^2$

$B_3 = 395\,853 + 3680 \cdot t_3 + 113 \cdot t_3^2$

$z_4 = 46\,122 - 2592 \cdot t_4 - 360{,}9 \cdot t_4^2$

$a_4 = 44\,167 + 296{,}8 \cdot t_4 - 215{,}6 \cdot t_4^2$

$B_4 = 447\,662 + 1675 \cdot t_4 - 2099 \cdot t_4^2$

$z_5 = 29\,244 - 1696{,}3 \cdot t_5 + 730{,}6 \cdot t_5^2$

$a_5 = 42\,012 - 1941{,}8 \cdot t_5 + 429{,}64 \cdot t_5^2$

$B_5 = 421\,607 - 12\,768 \cdot t_5 + 122{,}75 \cdot t_5^2 + 100{,}32 \cdot t_5^3$

$z_6 = 45\,901 - 1664{,}1 \cdot t_6 - 87{,}71 \cdot t_6^2$

$a_6 = 46\,097 - 336{,}8 \cdot t_6 - 303{,}62 \cdot t_6^2$

$B_6 = 375\,111 - 196 \cdot t_6 - 663{,}6 \cdot t_6^2 + 71{,}98 \cdot t_6^3$

$z_7 = 41\,134 + 2457 \cdot t_7 - 91{,}44 \cdot t_7^2$

$a_7 = 42\,096 + 1267{,}8 \cdot t_7 - 16{,}31 \cdot t_7^2$

$B_7 = 372\,777 - 962 \cdot t_7 + 594{,}6 \cdot t_7^2 - 25{,}05 \cdot t_7^3$

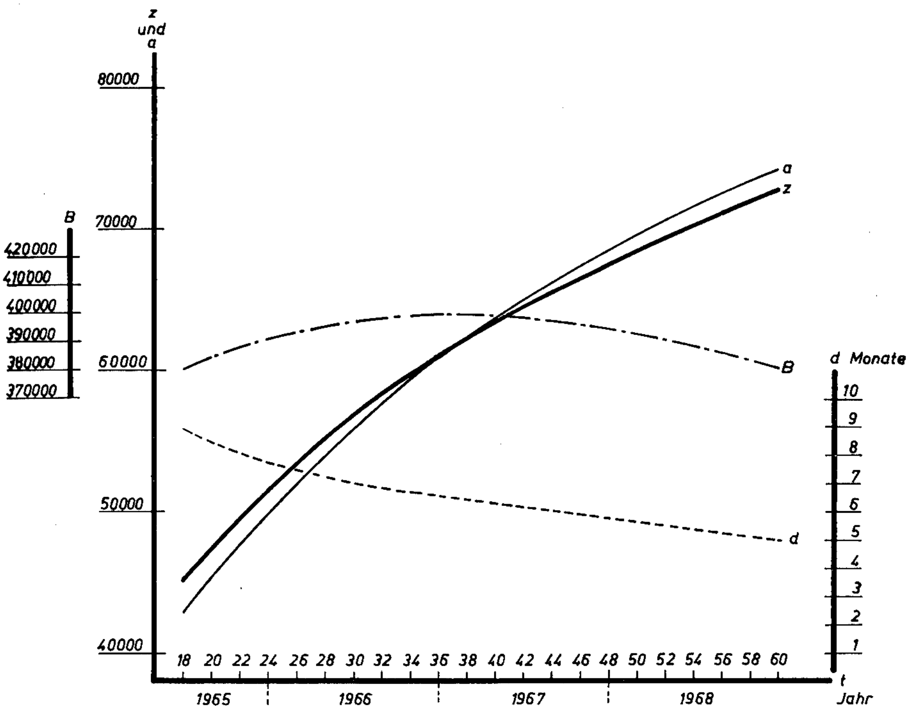


Bild 12. Die zukünftige Entwicklung (Fernsprechhauptanschlüsse: Anträge, Neueinrichtungen, unerledigte Anträge, mittlere Wartezeit) in den Jahren 1967 und 1968 unter der Annahme, daß die Angebots- und Nachfrageentwicklung weiterhin den Trends der Jahre 1965 und 1966 folgen werden

z = Neuanträge
a = Neueinrichtungen
B = Bestand an unerledigten Anträgen
d = mittlere Wartezeit

$$B(t) = B_0 + \int (-21\,146 + 52\,744 \log t)\,dt - \int (-32\,532 + 60\,009 \log t)\,dt = B_0 + 14\,547\,t - 7265\,t \log t.$$

B_0 wurde aus den monatlichen Bestandswerten des Jahres 1966 ermittelt. Die Bestandsfunktion lautet dann:

$$B(t) = 282\,482 + 14\,547\,t - 7\,265\,t \log t.$$

Aus der Beziehung

$$d(t) = \frac{B(t)}{a(t)}$$

wurde die Funktion der mittleren Wartezeit gebildet:

$$d(t) = \frac{282\,482 + 14\,547\,t - 7\,265\,t \log t}{-32\,532 + 60\,009 \log t}.$$

Wenn Angebots- und Nachfrageentwicklung in den Jahren 1967 und 1968 etwa so weiterverlaufen wie in den Jahren 1965 und 1966, wird hiernach der Bestand an unerledigten Anmeldungen leicht rückläufig sein und von rd. 400 000 unerledigten Anträgen Anfang 1967 auf rd. 380 000 unerledigte Anträge zurückgehen und die mittlere Wartezeit wird von rd. 6,5 Monaten auf rd. 5 Monate Ende 1968 absinken (Bild 12).

Oder anders betrachtet:

Wenn die Nachfrage in den Jahren 1967 und 1968 dem gleichen Trend folgt wie in den Jahren 1965 und 1966, und wenn bis Ende 1968 eine mittlere Wartezeit von 5 Monaten erreicht sein soll, dann müssen im Jahre 1967

$$\int_{36}^{48} a(t)\,dt = \int_{36}^{48} (-\,32\,532 + 60\,009 \log t)\,dt =$$

$$= \Big[-\,58\,593\,t + 60\,009\,t \log t\Big]_{36}^{48} = 777\,469$$

und im Jahre 1968

$$\int_{48}^{60} a(t)\,dt = \int_{48}^{60} (-\,32\,532 + 60\,009 \log t)\,dt = 856\,487,$$

in den beiden Jahren zusammen 1 633 956 Hauptanschlüsse neu eingerichtet werden. Als Vergleichszahl hierzu sei vermerkt, daß 1966 insgesamt 671 212 Hauptanschlüsse neu eingerichtet wurden.

6. Prognosen mit dem Ziel, eine bestimmte mittlere Wartezeit zu erreichen

Wollte man die Frage beantworten, wann unter diesen Umständen die in den 50er Jahren erreichte mittlere Wartezeit von nahezu 2 Monaten wieder erreicht werden kann, dann wäre nach obiger Gleichung für d zu setzen:

$$2 = \frac{282\,482 + 14\,547\,t - 7\,265\,t \log t}{-\,32\,532 + 60\,009 \log t}.$$

Ein kombiniertes rechnerisch-graphisches Näherungsverfahren ergibt für t den Wert 127 Monate.

Abgesehen davon, daß dies für eine Prognose — allein aus der Entwicklung der beiden letzten Jahre heraus und ohne Berücksichtigung der Entwicklung anderer volkswirtschaftlicher Faktoren, von denen das Fernmeldewesen wesentlich mit abhängt — ein zu langer Zeitabschnitt ist, dürfte die für die nähere Zukunft anzustrebende mittlere Wartezeit zunächst oberhalb von 2 Monaten liegen.

7. Die Angebotsfunktion in Abhängigkeit von einer vorgegebenen Mittleren-Wartezeit-Funktion

Sollten aber irgendwelche Erwägungen zu dem Entschlusse führen, bis zum Ende eines bestimmten Zeitabschnittes einen bestimmten Wert der mittleren Wartezeit im Wege kontinuierlicher Entwicklung zu erreichen, so müßte zuerst die Funktion der mittleren Wartezeit — am besten als Gleichung ersten Grades — berechnet und dann, zusammen mit der Nachfragefunktion, in den funktionalen Zusammenhang von Nachfrage, Bestand an unerledigten Anträgen und mittlerer Wartezeit eingesetzt werden:

$$B(t) = B_0 + \int z(t)\,dt - \int a(t)\,dt$$

$$d(t) = \frac{B(t)}{a(t)}.$$

Dieses Gleichungssystem wäre dann nach der Funktion der Neueinrichtungen — a(t) — aufzulösen und daraus die Zahl der in jedem Monat oder — nach Integration — in jedem fraglichen anderen Zeitabschnitt neu einzurichtenden Hauptanschlüsse zu berechnen.

Nachfolgend sei ein Beispiel dieser Art dargestellt:

Es soll bis Ende 1968 in kontinuierlicher Entwicklung das Ziel einer mittleren Wartezeit von 2 Monaten erreicht werden.

Die anzustrebende Soll-Funktion der mittleren Wartezeit ist einfach zu ermitteln, da die Anfangs- und Endpunkte bekannt sind. Im Beispielsfalle muß sie die Form haben:

$$d = 13{,}5016 - 0{,}1917\,t$$

(Ende Januar 1964: $t = 1$, Ende Februar 1964: $t = 2$ usw.).

Die Nachfragefunktion hat die Form

$$z = -\,21\,146 + 52\,744 \log t.$$

Folglich müßte das Angebot den Ergebnissen der Funktion

$$a(t) = \frac{B_0 + \int(-\,21\,146 + 52\,744 \log t)\,dt - \int a(t)\,dt}{13{,}5016 - 0{,}1917\,t} =$$

$$= 41\,832 + 778{,}5\,t - 8996{,}3\,e^{-\,9{,}71\,308 \log \frac{34{,}431}{70{,}431 - t}}$$

angepaßt werden. (Ableitung siehe Anhang II.)

Es kann also berechnet werden, wieviele Hauptanschlüsse Monat für Monat bzw. innerhalb gewisser anderer Zeitabschnitte neu eingerichtet werden müssen. (Der Verlauf der korrespondierenden Kurven ist in Bild 13 dargestellt.)

Nach

$$\int_{36}^{48} a(t)\,dt = 41\,832\,t + 778\,\frac{t^2}{2} -$$

$$\frac{8\,996\,e^{-\,9{,}7 \log 34{,}4}}{9{,}7 \cdot 0{,}43 + 1}\;e^{(9{,}7 + 2{,}3) \log (70{,}4 - t)}$$

müßten im Laufe des Jahres 1967 rd. 841 000 Hauptanschlüsse, und nach

$$\int_{48}^{60} a(t)\,dt = 999\,900$$

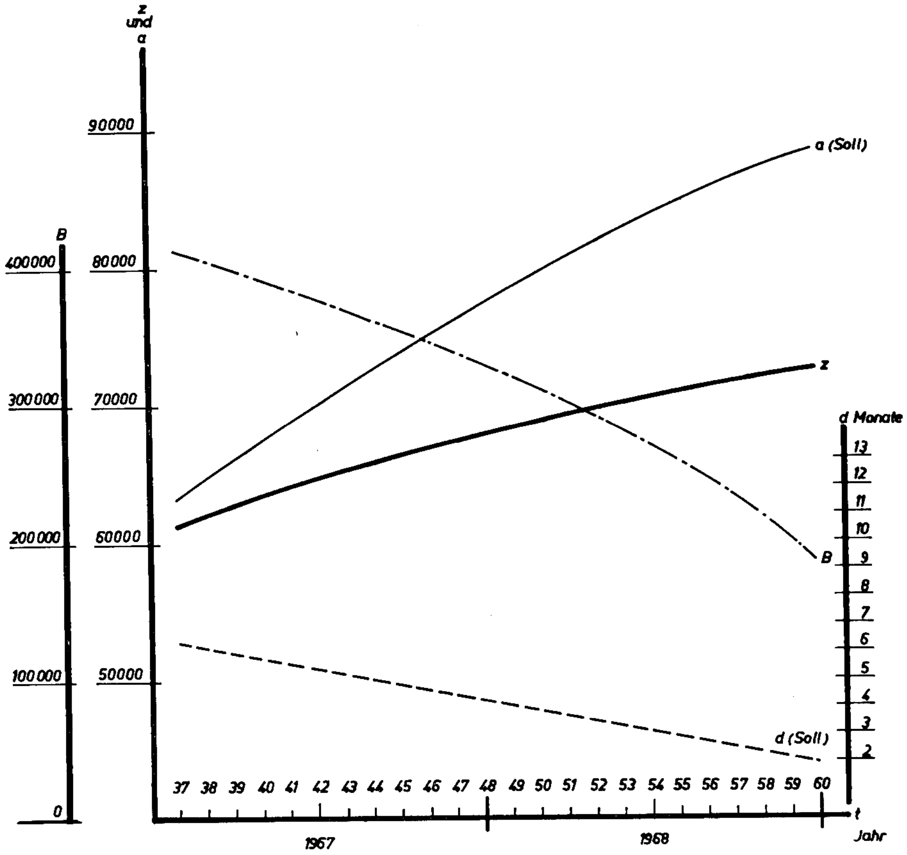


Bild 13. Die zukünftige Entwicklung (Fernsprechhauptanschlüsse: Anträge, Neueinrichtungen, unerledigte Anträge, mittlere Wartezeit) in den Jahren 1967 und 1968 unter der Annahme, daß die Nachfrage weiterhin dem Trend der Jahre 1965 und 1966 folgen wird, und mit dem Ziele, durch entsprechende Angebotsausweitung Ende 1968 eine mittlere Wartezeit von 2 Monaten zu erreichen

z = Neuanträge
a = Neueinrichtungen
B = Bestand an unerledigten Anträgen
d = mittlere Wartezeit

müßten im Laufe des Jahres 1968 rd. 1 Mio Hauptanschlüsse neu eingerichtet werden, um am Ende dieses Zeitabschnittes eine mittlere Wartezeit von 2 Monaten zu erreichen. Der Bestand der unerledigten Anträge würde in dem betrachteten Zweijahresabschnitt um über 210 000 Anträge abgebaut und von rd. 400 000 unerledigten Anträgen Anfang 1967 auf unter 190 000 Ende 1968 absinken.

Soll das angestrebte Ziel eine mittlere Wartezeit von 3 Monaten sein, so müßten im Laufe des Jahres 1967 rund 818 000 und im Jahre 1968 rund 949 000 Hauptanschlüsse neu eingerichtet werden (Bild 14). Die Zahl der unerledigten Anträge würde in diesem Fall um 180 000 auf 220 000 unerledigte Anträge zurückgehen.

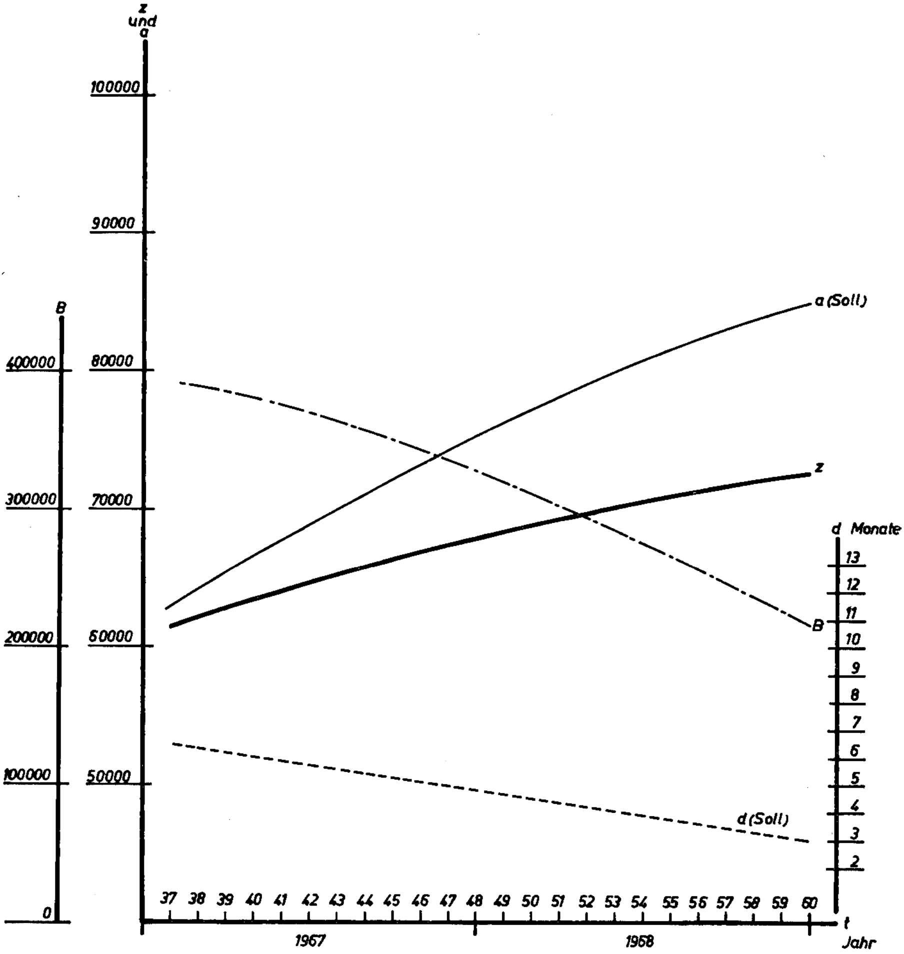


Bild 14. Die zukünftige Entwicklung (Fernsprechhauptanschlüsse: Anträge, Neueinrichtungen, unerledigte Anträge, mittlere Wartezeit) in den Jahren 1967 und 1968 unter der Annahme, daß die Nachfrage weiterhin dem Trend der Jahre 1965 und 1966 folgen wird, und mit dem Ziele, durch entsprechende Angebotsausweitung Ende 1968 eine mittlere Wartezeit von 3 Monaten zu erreichen

z = Neuanträge

a = Neueinrichtungen

B = Bestand an unerledigten Anträgen

d = mittlere Wartezeit

$$a = 42\,772 + 686 \cdot t - 6608 e^{-13{,}048 \log\left(\frac{54}{80 - t}\right)}$$

$$z = -\,21\,146 + 52\,744 \log t \approx 44\,308 + 480 \cdot t$$

$$d = 12{,}00 - 0{,}15 \cdot t$$

Verlaufen die Angebots-, Nachfrage- und Bestandsfunktionen stetig fallend oder steigend und begnügt man sich für die mittlere Wartezeit mit einem Durchschnittswert für ein Jahr und verzichtet somit auch auf den Monatstrend von a, z und B, so läßt sich der Zusammenhang zwischen den genannten Größen nach der Formel $d_a = B_{\varnothing}/a$ graphisch anschaulich darstellen, wenn man a und z ebenfalls auf ein Jahr be-

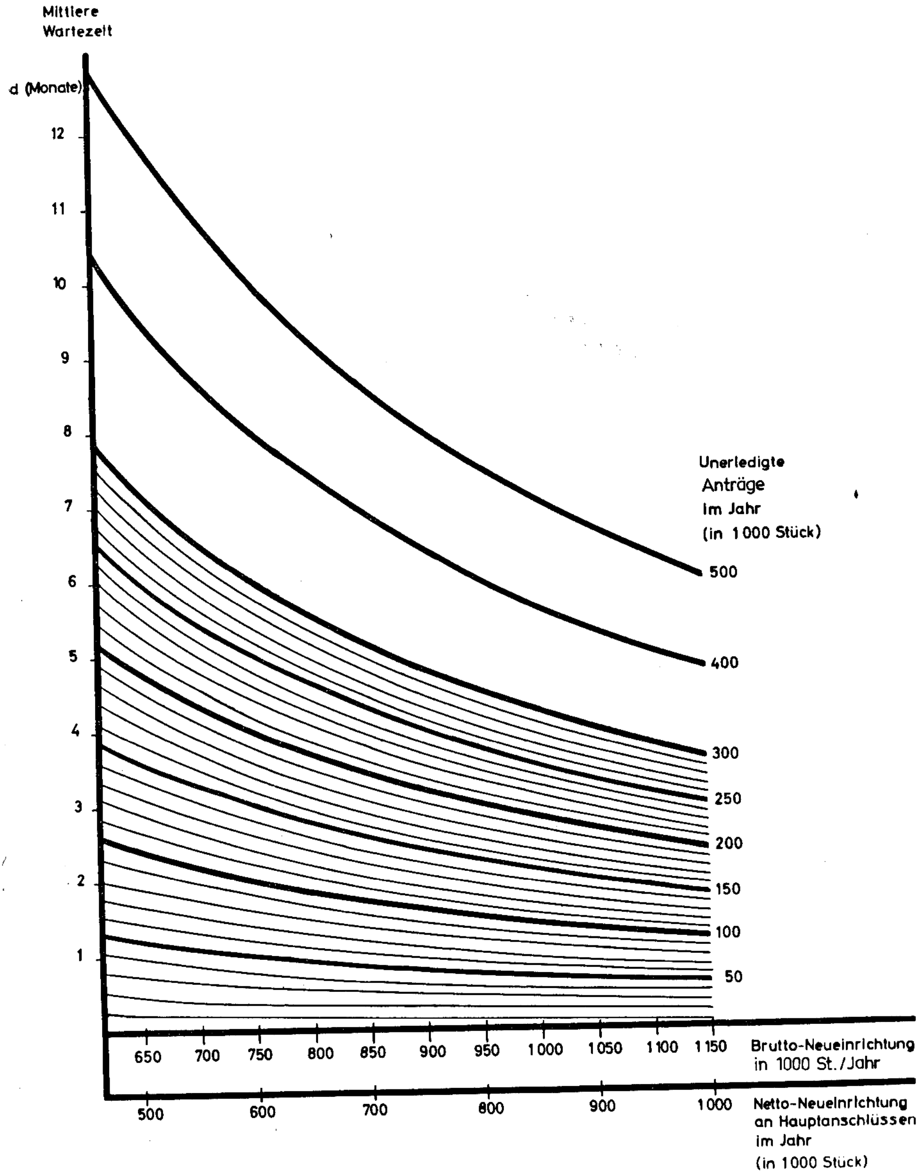


Bild 15. Die mittlere Wartezeit d_a in Abhängigkeit vom Jahresdurchschnittsbestand an unerledigten Anträgen $B_{\varnothing}$ und der Zahl der pro Jahr neueingerichteten Hauptanschlüsse a nach der Formel $d_a = B_{\varnothing}/a$

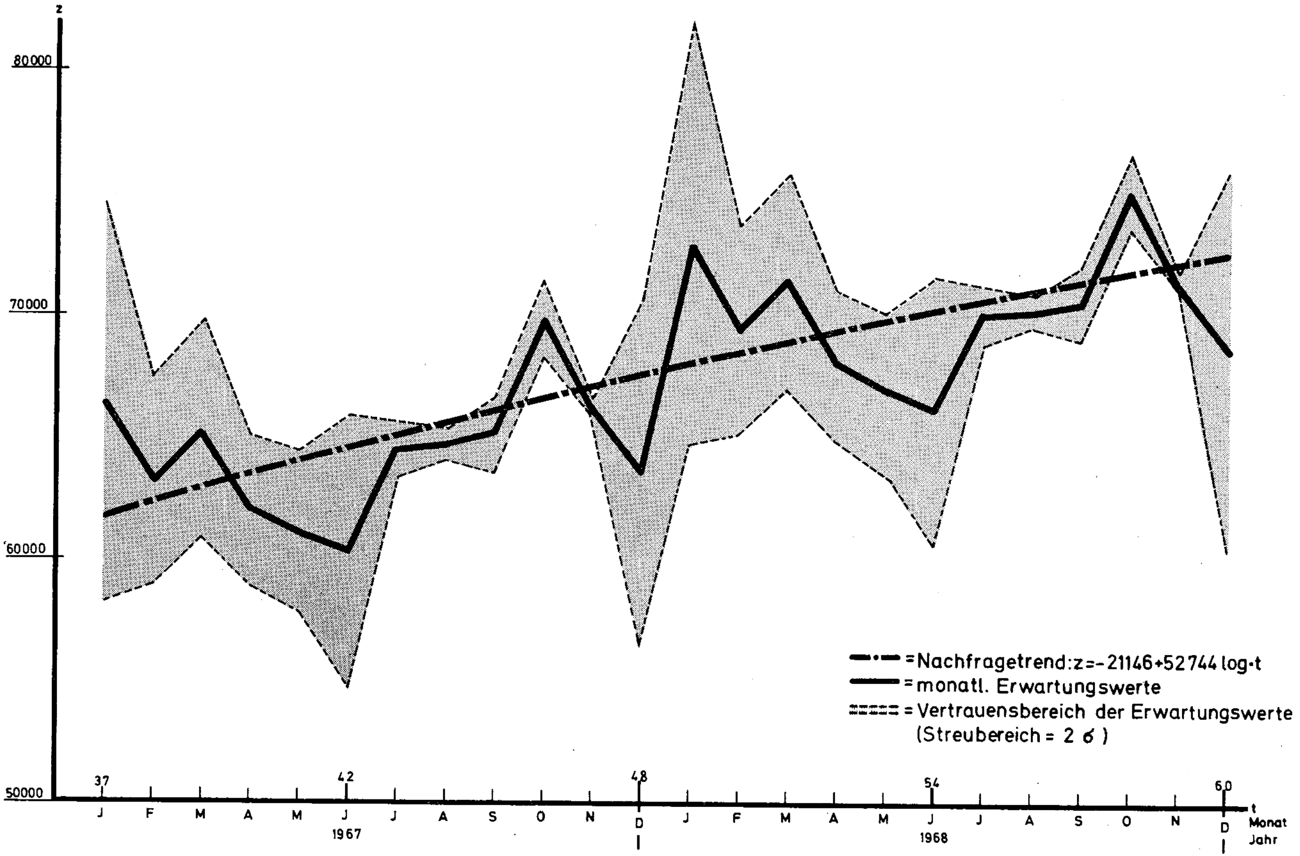


Bild 16. Eine Nachfrageprognose für die Jahre 1967 und 1968 in Monatserwartungswerten

zieht (Bild 15). Die horizontale Koordinate in Bild 15 wurde außer in brutto-eingerichteten Hauptanschlüssen pro Jahr auch noch in netto-eingerichteten Hauptanschlüssen pro Jahr normiert, d. h. abzüglich der Aufhebungen; dies entspricht dann der Bestandszunahme pro Jahr unter der Annahme, daß die Zahl der jährlichen Aufhebungen von Hauptanschlüssen in der nahen Zukunft wie in den letzten Jahren bei 150 000 liegt.

8. Die saisonabhängige Nachfrageprognose für 1967 und 1968

Zuweilen können die für Prognosen zu extrapolierenden Trends nicht genügend genau berechnet werden, zuweilen kommt es auch zu Trendänderungen, die hauptsächlich dann lange Zeit nicht erkannt werden, wenn sie zwar im Augenblick geringfügig erscheinen, dafür aber in der Dauer längerfristig sind. Wagt man trotz dieser Erkenntnisse mittel- und längerfristige Prognosen und will man die Betriebsführung an dem Anstreben oder Einhalten einer bestimmten mittleren Wartezeit ausrichten, so könnten die zu spät erkannten Nachfrage-Trendänderungen das angestrebte Ziel sehr gefährden. Um das zu verhindern, müssen die vorausberechneten Nachfrage-Erwartungswerte laufend mit der tatsächlich aufgekommenen Nachfrage verglichen werden. Solange die tatsächlichen Nachfragewerte zufällig um die vorausberechneten Nachfrage-Erwartungswerte streuen, gilt der alte Trend. Kommt es aber zu einer systematischen Abweichung, dann muß der Trend — und damit die ganze Prognose — korrigiert werden. Zumeist sind die Unterschiede des tatsächlichen Trends vom extrapolierten Trend so klein, daß sie aus dem Vergleich der Monatswerte lange Zeit nicht erkannt werden könnten. Um auch diese Gefahr auszuschalten, müssen nicht nur Monats-, sondern auch Mehrmonats-Erwartungswerte berechnet und mit den tatsächlichen Mehrmonatswerten verglichen werden. Diese Vergleiche haben den Vorteil, daß die Vertrauensbereiche der Erwartungswerte von einem Mehrmonatsabschnitt zum nächsten Mehrmonatsabschnitt relativ kleiner, d. h., daß die Mehrmonats-Erwartungswerte ständig genauer werden. Damit steigt die Güte der Vergleiche. Auf diese Weise können Trendänderungen frühestmöglich erkannt und berücksichtigt werden. Bild 16 zeigt die Prognose der Nachfrage für die Jahre 1967 und 1968 in Monatserwartungswerten. Die dem Trend aufgesetzte Saisonnormale wurde aus den Mittelwerten der Saison- und Zufallsabweichungen der einzelnen Monatswerte vom Trend in mehreren Jahren der Vergangenheit gewonnen. Der Saisonkorridor (= Vertrauensbereich der Erwartungswerte) erstreckt sich über 2 σ der Standardabweichung σ.

VI. Die Häufigkeitsverteilung der Lagerzeiten und die mittlere Lagerzeit der unerledigten Anträge

1. Die Stichprobenerhebung im Jahre 1965

Im Jahre 1965 wurde im Bereich der Deutschen Bundespost eine Stichprobenerhebung mit dem Ziele durchgeführt, die Häufigkeitsverteilung der unerledigten Anträge kennenzulernen und über die Häufigkeitsverteilung auf die mittlere Lagerzeit l der unerledigten Anträge und daraus, wenn möglich, auf die mittlere Wartezeit zu schließen. Insbesondere sollten dadurch auch Erkenntnisse über die Struktur der Wartezeiten im Verhältnis zu bestimmten Ortsnetzgrößenklassen und hinsichtlich der Lage der Ortsnetze in überwiegend städtischen oder ländlichen Bereichen gewonnen werden.

Die Auswahl folgte dem Prinzip der zweistufigen Klumpenauswahl. Auswahleinheiten der ersten Auswahlstufe waren die Fernmeldeämter, der zweiten Auswahlstufe die unerledigten Anträge der ausgewählten Fernmeldeämter. Die zufällige Auswahl wurde durch das systematische Auswahlverfahren in der Form erreicht, daß die Fernmeldeämter nach den Anfangsbuchstaben ihrer Lageorte aneinandergereiht und dann die Stichprobe mit einem Auszählfaktor ausgezählt wurde. Auf diese Weise wurden 20 von 81 in Frage kommenden Fernmeldeämtern als Erhebungs-Ämter zufällig ermittelt. In der zweiten Auswahlstufe (= unerledigte Anträge) fand eine Unterauswahl nur dann statt, wenn für ein Ortsnetz mehr als 100 unerledigte Anträge vorlagen. Für diesen Fall war vorgesehen, jeden 2. Antrag zu untersuchen, wenn 101 bis 500 Anträge vorlagen, jeden 5. Antrag zu untersuchen, wenn 501 bis 1000 Anträge vorlagen, und jeden 10. Antrag zu untersuchen, wenn mehr als 1000 Anträge vorlagen.

Auf diese Weise wurden die unerledigten Anträge von 487 der 3783 Ende 1965 insgesamt vorhandenen Ortsnetze vollständig oder stichprobenweise untersucht. Nachstehende Tabelle zeigt, daß die Verteilung der infolge Zufallsauswahl in die Erhebung geratenen Ortsnetze gut der tatsächlichen Verteilung der Ortsnetze angenähert ist.

Tabelle 2

Verteilung der in die Erhebung einbezogenen Ortsnetze auf die verschiedenen Ortsnetz-Klassen

Ortsnetz-Größe nach der Zahl der gebührenpfl. Hauptanschlüsse	Zahl der erfaßten Ortsnetze	d. s. %	Tatsächlich vorhandene Ortsnetze in %
A 1— 100	70	14,7	22,7
B 101— 200	128	26,3	26,3
C1 201— 500	154	31,6	28,0
C2 501— 1 000	55	11,3	11,6
D1 1 001— 10 000	70	14,3	10,1
D2 10 001— 50 000	8	1,6	1,0
D3 50 001—100 000	—	0,0	0,1
D4 über 100 000	2	0,4	0,2
	487	100	100

Die ausgewählten unerledigten Anträge (gleichgültig, ob der Bauauftrag zur Einrichtung schon erteilt war oder nicht) waren auf ihre tatsächliche Lagerzeit bis zum Zeitpunkt der Erhebung (Ende Januar/Anfang Februar 1965) zu untersuchen. Die Ergebnisse waren in Strich-

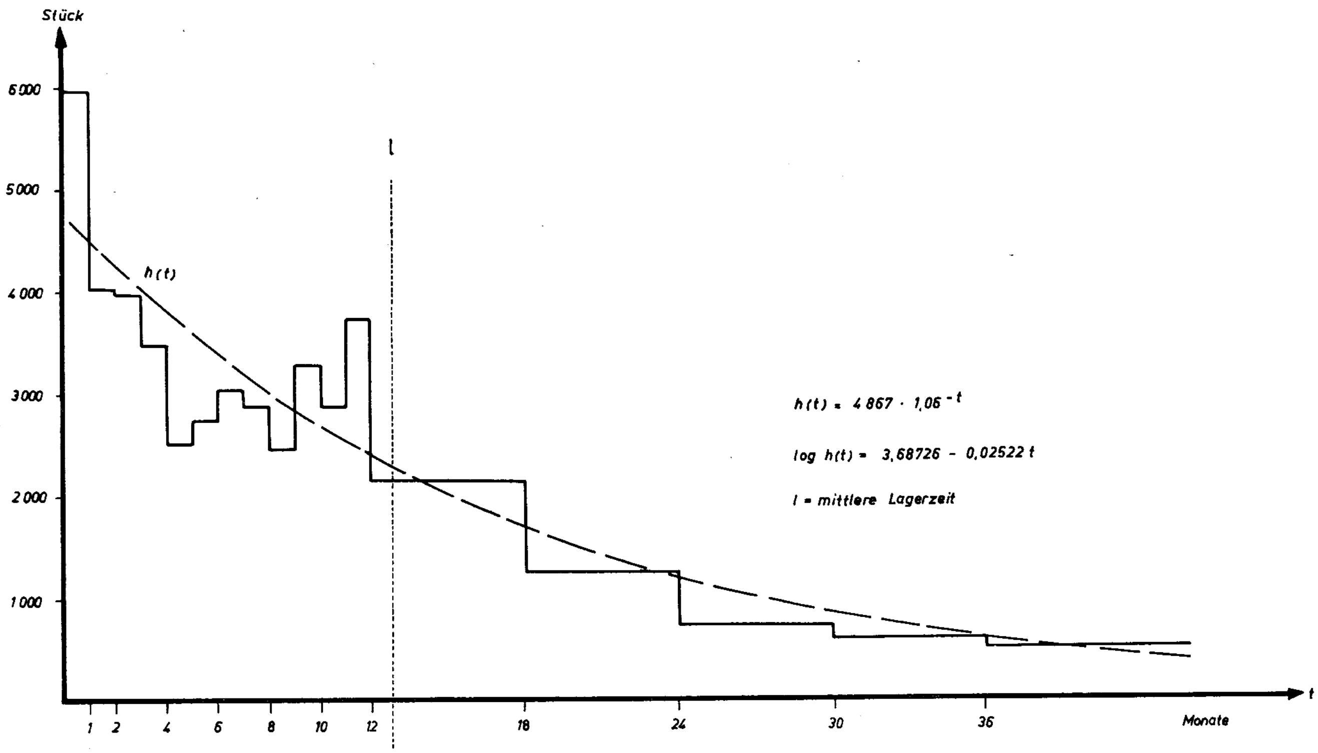


Bild 17. Die Häufigkeitsverteilung der Lagerzeiten unerledigter Anträge im Bereich der Deutschen Bundespost, Ergebnis einer Stichprobenerhebung (Stand: Ende Januar 1965)

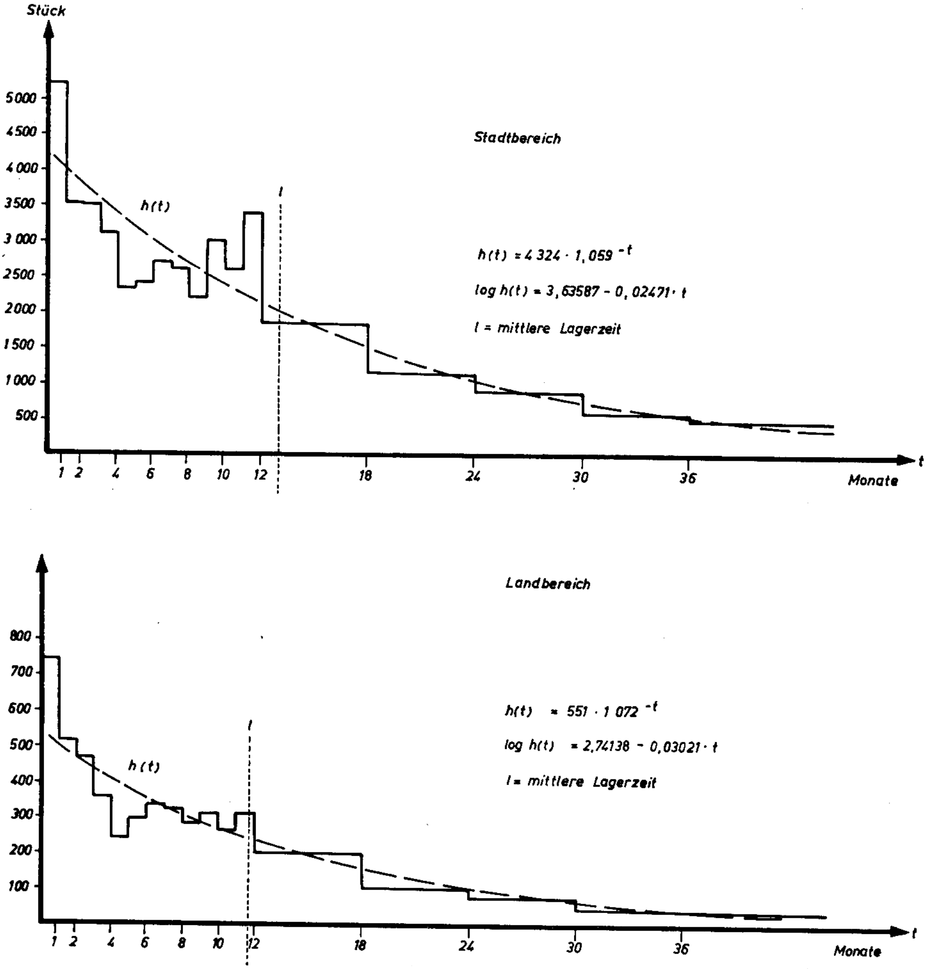


Bild 18. Die Häufigkeitsverteilungen der Lagerzeiten unerledigter Anträge, getrennt für Ortsnetze in städtischen und Ortsnetze in ländlichen Bereichen

listen mit 17 Zeit-Klassen (zwölf Monatsklassen — weniger als 1 Monat, 1 bis weniger als 2 Monate usw. —, vier 6-Monats-Klassen — 12 bis weniger als 18 Monate, 18 bis weniger als 24 Monate usw. — und eine offene Randklasse — 36 und mehr Monate —) festzuhalten. Jede Strichliste erhielt noch eine Markierung, die angibt, mit welchem Auswahlsatz gearbeitet wurde.

2. Die Gesetzmäßigkeiten der Häufigkeitsverteilung

Als Ergebnis der Erhebung war zu erwarten, daß jede der vorgegebenen Zeit-Klassen eine bestimmte Besetzungszahl bekommt, daß aus den Besetzungszahlen die Häufigkeitsverteilung der Zeiten, die die ausgewählten unerledigten Anträge — hochgewichtet mit dem jeweiligen Auswahlsatz — zum Erhebungszeitpunkt bereits lagerten, erkannt und mit Hilfe der Beziehung

$$l = \frac{\sum\limits_{i=0}^{n} h_i t_i}{\sum\limits_{i=0}^{n} h_i}$$

h_i = Häufigkeit = Besetzungszahl = Zahl der unerledigten Anträge in der i. Zeitklasse,

t_i = Zeitmaß der i. Zeitklasse; in der Regel Klassenmitte, z. B. 0,5, 1,5 . . . n — 0,5 Monate,

die mittlere Lagerzeit der unerledigten Anträge ermittelt werden kann.

Daß dies möglich ist, kann unmittelbar aus der Theorie der mittleren Verweildauer abgeleitet werden. In der Regel haben die Elemente eines Lagerbestandes im Durchschnitt eine ebenso lange Verweildauer hinter wie vor sich.

Im Anhang I wird ausgeführt, daß im Falle der Exponentialverteilung von Wartezeiten die den Lagerbestandteilen im Durchschnitt noch bevorstehende Lagerzeit l gleich der mittleren Wartezeit d ist. Es müßte also $l = d$ sein.

Bild 17 zeigt das Histogramm der aus allen erhobenen unerledigten Anträgen gewonnenen Häufigkeitsverteilung. Die Verteilung ist grundsätzlich negativ-exponentiell, aber offenbar im 1. Drittel gestört. Die gleichen Erkenntnisse gewinnt man auch bei der Betrachtung von Häufigkeitsverteilungen der Lagerzeiten kleinerer Kollektive, z. B. für Ortsnetze in überwiegend städtischen Bereichen oder in überwiegend ländlichen Bereichen (Bild 18) und für die Ortsnetze gewisser Größenklassen (aufgeteilt nach der Zahl der gebührenpflichtigen Hauptanschlüsse, Bild 19). Die Störungen im ersten Drittel der Häufigkeitsverteilungen sind eine Folge der Gebührenänderung vom 1. 8. 1964. Wie Bild 11 zeigt, setzte bereits im Mai 1964 ein progressiv zunehmender Nachfragerückgang ein, der etwa im September 1964 das damalige Nachfrageminimum erreichte und von da an wieder progressiv stark abnahm. In dieser Zeit hatten Neuanträge und unerledigte Anträge größere Chancen, früher erledigt zu werden als vorher. Folglich kamen auch weniger Neuanträge zu den unerledigten Anträgen. Die Häufigkeitsverteilungen unerledigter Anträge lassen diesen Einbruch zwischen dem 4. und dem 9. Monat Lagerzeit durchweg erkennen.

Bei der Berechnung der mittleren Lagerzeit aus dem Erhebungsmaterial macht sich die offene Randklasse „36 und mehr Monate" sehr störend bemerkbar. Vor der Erhebung nahm man an, daß diese Klasse kaum noch merklich besetzt sei. In Wirklichkeit ist sie aber, wie sich nach der Erhebung herausstellte, doch noch bedeutsam. Erst ab etwa 50 Monaten Lagerzeit wird die Besetzung vernachlässigbar klein. Im übrigen hat jede Säule jedes Häufigkeits-Histogrammes einen — allerdings berechenbaren — Zufallsfehler.

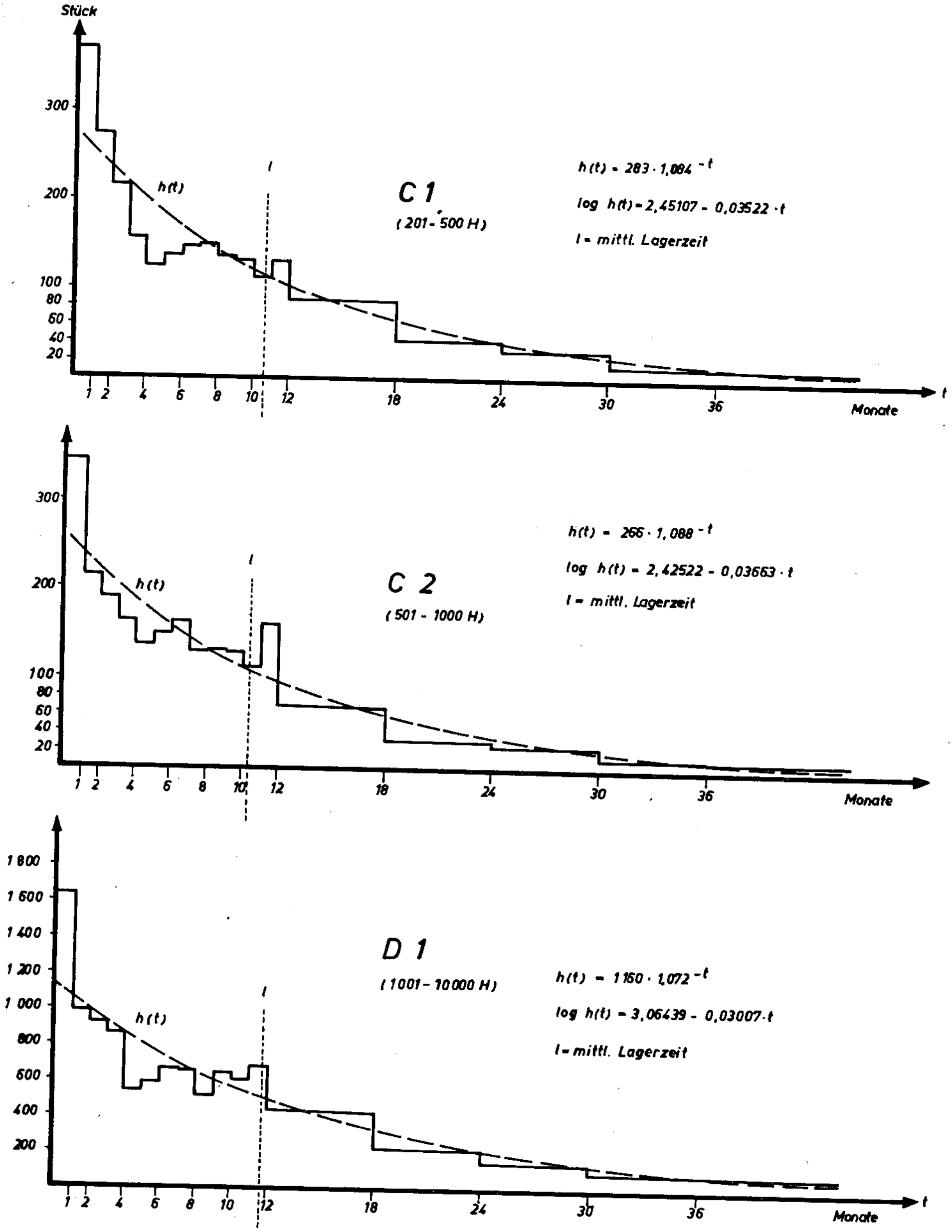


Bild 19. Die Häufigkeitsverteilungen der Lagerzeiten unerledigter Anträge für verschiedene Ortsnetz-Größen-Klassen

Um sowohl die Zufallsfehler der Häufigkeitssäulen zu minimieren — sie gleichen sich in ihrem Plus-Minus-Verhalten zum Teil aus —, als auch um die Störung im ersten Drittel der Verteilungen etwas auszugleichen — es handelte sich ja um eine vorübergehende Störung —, als auch um den störenden Einfluß der offenen Randklasse so klein wie möglich zu machen, wurden für alle Histogramme die Ausgleichskurven (mit Hilfe der Methode der kleinsten Quadrate) nach der allgemeinen Funktion

$$h(t) = a\,e^{-t \ln b}$$
$$= a\,b^{-t}$$

berechnet.

Um schließlich zur mittleren Lagerzeit nach

$$l = \frac{\sum_{i=0}^{n} h_i t_i}{\sum_{i=0}^{n} h_i}$$

zu gelangen, muß gefolgert werden

$$\sum h_i t_i = \int a\,b^{-t} t\,dt = -\frac{a}{\ln b} b^{-t} \left(t + \frac{1}{\ln b}\right) \Big|_0^{t_i}$$

$$\sum h_i = \int a\,b^{-t}\,dt = -\frac{a}{\ln b} b^{-t} \Big|_0^{t_i} .$$

Die Integration von 0 bis ∞ ergibt

$$\sum h\,t = \frac{a}{\ln^2 b} \qquad \sum h = \frac{a}{\ln b} .$$

Dann gilt für

$$l = \frac{\sum h\,t}{\sum h} = \frac{1}{\ln b} .$$ [2]

Soll bis zu einem endlichen t-Wert integriert werden, so gilt

$$l = \frac{\frac{1}{\ln b} - \left(t + \frac{1}{\ln b}\right) b^{-t}}{1 - b^{-t}} .$$

---

[2] Wären z. B. nur l und eine einzige Häufigkeit bekannt, dann könnte b über

$$\ln b = \frac{1}{l}$$

(allgemeingültig!) und a über b, die bekannte Häufigkeit und deren Zeitwert t_i berechnet werden:

$$a = \frac{h_i}{b^{-i}} .$$

Wären nur l und die Häufigkeitssumme oder eine Teilhäufigkeitssumme bekannt, so könnte b über ln b und l, a über

$$a = \ln b\,\Sigma h$$

bzw.

$$a = \frac{\Sigma h_i}{l\,(b^{-t_0} - b^{-t_i})}$$

berechnet werden.

3. Die mittleren Lagerzeiten im Jahre 1965

Eine Integration der Mengen- und der Zeitmengenfunktionen von t = 0 bis t = ∞ ist zwar theoretisch durchführbar (Tabelle 3), hat aber praktisch wenig Sinn. Die ältesten Anträge, die in der Erhebung vorkamen, lagerten 80 bis 100 Monate. Es handelt sich dabei um ausgesprochene Einzelfälle. Eine Integration über t = 40 Monate hinaus, deren Resultate in den Spalten 4—6 der Tabelle 3 wiedergegeben sind, bringt wahrscheinlich einen größeren systematischen Fehler in die Berechnung, als ihn die Vernachlässigung der älteren Anträge verursachen kann.

Tabelle 3

Die mittlere Lagerzeit unerledigter Anträge für verschiedene Ortsnetzgrößen im Stadt (St)- und Land (L)-Bereich (H = gebührenpflichtige Hauptanschlüsse)

Ortsnetz-Größe und -Charakter	log h(t)	h(t)	$I\left(\int_0^{\infty}\right)$	$I\left(\int_0^{120}\right)$	$I\left(\int_0^{60}\right)$	$I\left(\int_0^{40}\right)$
			in Monaten			
1	2	3	4	5	6	7
alle St u. L	3,68726—0,02522 t	$4867 \cdot 1{,}06^{-t}$	17	17	15	13
alle St	3,63587—0,02471 t	$4324 \cdot 1{,}059^{-t}$	18	17	16	13
alle L	2,74138—0,03021 t	$551 \cdot 1{,}072^{-t}$	14	14	13	12
1 bis 100 H A—L	1,55944—0,02328 t	$36 \cdot 1{,}055^{-t}$	19	19	16	13
101 bis 200 H B—L	1,89865—0,02295 t	$79 \cdot 1{,}054^{-t}$	18	19	16	13
201 bis 500 H C1—L	2,27481—0,03033 t	$188 \cdot 1{,}072^{-t}$	14	14	14	11
501 bis 1 000 H C2—L	2,05801—0,03427 t	$114 \cdot 1{,}082^{-t}$	13	13	12	11
1 001 bis 10 000 H D1—L	1,83219—0,01844 t	$68 \cdot 1{,}043^{-t}$	23	23	19	15
201 bis 500 H C1—St	1,75529—0,03322 t	$57 \cdot 1{,}09^{-t}$	13	13	13	11
501 bis 1 000 H C2—St	2,07180—0,03168 t	$118 \cdot 1{,}076^{-t}$	14	14	13	11
1 001 bis 10 000 H D1—St	3,04001—0,03125 t	$1096 \cdot 1{,}075^{-t}$	14	14	13	12
10 001 bis 50 000 H D2—St	2,99426—0,02474 t	$987 \cdot 1{,}059^{-t}$	18	17	16	13
über 100 000 H D4—St	3,31822—0,02189 t	$2081 \cdot 1{,}052^{-t}$	20	20	17	14
201 bis 500 H C1—St u. L	2,45107—0,03522 t	$283 \cdot 1{,}084^{-t}$	12	12	12	11
501 bis 1 000 H C2—St u. L	2,42522—0,03663 t	$266 \cdot 1{,}088^{-t}$	12	12	12	10
1 001 bis 10 000 H D1 St u. L	3,06439—0,03007 t	$1160 \cdot 1{,}072^{-t}$	14	14	14	12

Außer einigen Ausreißerergebnissen (wegen offenbar zu geringen Stichprobenumfanges), wie z. B. A—L (1 bis 100) mit 18 Monaten, B—L (101 bis 200) mit 20 Monaten und D1—L (1001 bis 10 000) mit 23 Monaten, dürfte an den Ergebnissen kaum etwas anderes auszusetzen sein, als daß die mittleren Lagerzeiten unerwartet hoch erscheinen und offenbar mit der mittleren Wartezeit, wie sie sich für die Erhebungszeit aus dem Zugang an Neuanträgen, dem Bestand an unerledigten Anträgen und den Neueinrichtungen ergeben, nicht übereinstimmen.

Dazu ist zu bemerken, daß zur Erhebungszeit die mittlere Lagerzeit höher als die mittlere Wartezeit sein mußte, weil die Exponentialverteilung der Lagerzeiten durch die vorangegangene Gebührenerhöhung vom 1. 8. 64 gestört worden war. Also konnte der Satz nicht in vollem Umfange gelten, daß die unerledigten Anträge im Durchschnitt eine ebenso lange Lagerzeit hinter sich wie vor sich haben. Im vorliegenden Fall muß gesagt werden, daß im Erhebungszeitpunkt die unerledigten Anträge im Durchschnitt eine kürzere Lagerzeit noch vor sich hatten. Diese Erkenntnis vermitteln auch die Histogramme der Häufigkeitsverteilungen (Bild 19 und 20). Der mindestens 4 bis 9 Monate umfassende Einbruch wird nach rechts, also in die zeitliche Tiefe hinein wandern. Er wird im Laufe der Zeit abflachen, aber vorhanden sein, bis die letzte Säule aus diesem Zeitabschnitt abgebaut sein wird. Und solange werden die jeweils betroffenen Zeitwerte ein kleineres Gewicht als vor und nach diesem Einbruch haben. Die Gleichung

$$l = \frac{\sum_{i=0}^{n} h_i t_i}{\sum_{i=0}^{n} h_i}$$

veranschaulicht, daß durch das Produkt $h_i t_i$ im Zähler in jedem folgenden Monat, den die Einbruchsstrecke weiterwandert, l kleiner werden wird, bis wieder ungestörte Häufigkeitsverteilungen erreicht sein werden und $l = d$ wird.

Um wieviel die mittleren Lagerzeiten damals höher waren als die mittleren Wartezeiten, kann ungefähr abgeschätzt werden, z. B. für die unerledigten Anträge aller Ortsnetze 10—20 %.

Nimmt man an, die Gebührenerhöhung und der damit zusammenhängende Nachfragerückgang wären nicht gekommen, die in der fraglichen Zeit eingegangenen Anträge hätten also keine größere Chance gehabt, früher erledigt zu werden, dann wären die Häufigkeitsverteilungen ungestört geblieben. Dieser Zustand kann — wenigstens im Ansatz — rekonstruiert werden, indem man zur Berechnung der Ausgleichskurven nur ungestörte Histogrammteile verwendet. Diese Kurven $h_1(t)$ wurden in die Histogramme des Bildes 20 neben den Kurven der ursprünglichen Ausgleichsfunktionen h(t) eingezeichnet. Wie erwartet, ergeben sich dann kürzere Lagerzeiten, nämlich

für alle Ortsnetze	statt 12,9 nur 11,4 Monate,
für alle Ortsnetze im Stadtbereich	statt 13,0 nur 12,3 Monate,
für alle Ortsnetze im Landbereich	statt 11,7 nur 11,0 Monate.

Diese Lagerzeiten liegen also bereits näher an den nach der Theorie der mittleren Verweildauer für diesen Zeitpunkt ermittelten mittleren Wartezeiten von 9 bis 10 Monaten (für alle Ortsnetze). Obwohl sie Zufallsfehler enthalten, weichen sie doch systematisch um etwa 2 Monate nach oben ab.

Es gibt Anhaltspunkte, um auch noch diese Abweichung zu erklären und zu bereinigen. Dazu wären aber weitere Primärerhebungen erforderlich. Für den damaligen Untersuchungszweck, nämlich die Struktur der Lagerzeiten kennenzulernen, konnte darauf verzichtet werden.

VII. Die Häufigkeitsverteilung der Wartezeiten und die mittlere Wartezeit der erledigten Anträge

1. Einzelheiten der Erhebung nach dem Klumpen-Auswahlverfahren

Die zu einem bestimmten Zeitpunkt vorliegenden unerledigten Anträge sind dann eine einseitige Auslese an Lagerbestandselementen, wenn ein offener — also durch laufenden Zu- und Abgang gekennzeichneter — Lagerbestand in seiner Struktur gestört worden ist. Die mittlere Wartezeit setzt begrifflich — wie bereits ausgeführt — voraus, daß die Lagerbestände in mehreren, zeitlich verschiedenen Zeitpunkten beobachtet werden und daß aus der danach festgestellten Struktur des Lagerbestandes die mittlere Wartezeit für einen genügend großen Zeitabschnitt ermittelt wird. Die Untersuchung der unerledigten Anträge zu einem bestimmten Zeitpunkt kann daher wohl in den meisten Fällen keinen genügend sicheren Schluß auf die mittlere Wartezeit zulassen.

Auch aus diesem Grunde lief in der gleichen Zeit, in der im Jahre 1965 stichprobenweise die unerledigten Anträge untersucht wurden, eine Stichprobe zur Untersuchung der Wartezeiten erledigter Anträge an. Auch dafür wurde das Klumpen-Auswahlverfahren angewendet.

Auswahleinheiten der ersten Auswahlstufe waren wiederum die Fernmeldeämter, der zweiten Auswahlstufe die Anmeldeplätze der ausgewählten Fernmeldeämter. Die Auswahl fand ebenfalls nach dem Prinzip der systematischen Zufallsauswahl statt. Die zufällige Anordnung der Fernmeldeämter und der Anmeldeplätze wurde über die alphabetische Anordnung erreicht (für Fernmeldeämter die Anfangsbuchstaben der Orte, an denen sie sich befinden, für Anmeldeplätze die Anfangsbuchstaben der Namen der Beamtinnen, die an einem bestimmten Tag die Anmeldeplätze innehatten).

Untersuchungseinheiten waren die Anträge, für die vom Beginn der Erhebung an die Rückmeldungen des Baudienstes über die vollzogene Einrichtung und Beschaltung eingingen.

Die Anträge waren auf folgende Merkmale hin zu untersuchen:

a) Jahr und Monat der Antragstellung
b) Jahr und Monat der Bauauftragserteilung zur Einrichtung
c) Jahr und Monat des Eingangs der Rückmeldung über vollzogene Einrichtung und Beschaltung
d) Wartezeit (= Differenz zwischen a und c).

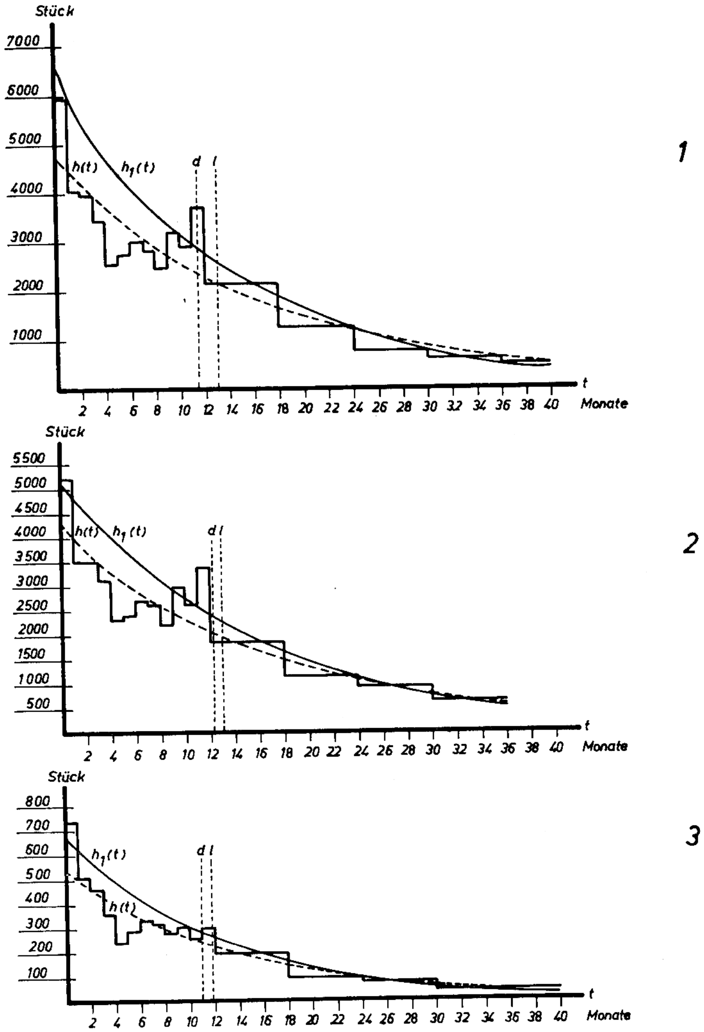


Bild 20. Die Häufigkeitsverteilungen der Lagerzeiten unerledigter Anträge für den Fall einer durch Gebührenänderungen nicht gestörten Entwicklung

1 Stadt- und Landbereich

$h(t) = 4867 \cdot 1{,}060^{-t}$

$\log h(t) = 3{,}68726 - 0{,}02522 \cdot t$

$h_1(t) = 6665 \cdot 1{,}076^{-t}$

$\log h_1(t) = 3{,}82379 - 0{,}03177 \cdot t$

2 Stadtbereich

$h(t) = 4324 \cdot 1{,}059^{-t}$

$\log h(t) = 3{,}63587 - 0{,}02471 \cdot t$

$h_1(t) = 5168 \cdot 1{,}066^{-t}$

$\log h_1(t) = 3{,}71332 - 0{,}02779 \cdot t$

3 Landbereich

$h(t) = 551 \cdot 1{,}072^{-t}$

$\log h(t) = 2{,}74138 - 0{,}03021 \cdot t$

$h_1(t) = 672 \cdot 1{,}081^{-t}$

$\log h_1(t) = 2{,}82731 - 0{,}03371 \cdot t$

Die Wartezeit war in ganzen Monaten auszudrücken. Lediglich in den Fällen, in denen Antragstellung und Rückmeldung über die Einrichtung im selben Monat eingingen, wurde die Wartezeit mit 0,5 Monaten angegeben. In Wirklichkeit konnte sie von einem Tag bis zu fast einem Monat betragen. Die mit einem Monat angegebenen Wartezeiten konnten von einem Tag bis zu zwei Monaten betragen, die mit zwei Monaten angegebenen Wartezeiten konnten von etwas mehr als einem Monat bis zu drei Monaten betragen usw. Da aber nichts dafür spricht, daß in bestimmten Wochen eines Monats systematische Häufungen von Antragstellungen und Erledigungen vorkommen, können diese Überschneidungen auch nicht zu systematischen Fehlern in den Ergebnissen führen. Die Ergebnisse können also nur mit Zufallsfehlern infolge der Stichprobenauswahl, also mit berechenbaren Fehlern, behaftet sein.

Nach mehreren Monaten wurden die Erhebungen für die größten Ortsnetze abgebrochen, um die zusätzliche Belastung der Anmeldeplätze so klein wie möglich zu halten. Nach einigen weiteren Monaten wurden sie für die zweitgrößten Ortsnetze eingestellt usw. Für eine längerfristige Untersuchung wie die vorliegende (für die die damalige Erhebung allerdings ursprünglich nicht gedacht war) wäre es besser gewesen, statt die Erhebungen für eine bestimmte Ortsnetz-Größe ganz abzubrechen, sie bei einem anderen — bis dahin nicht betroffenen — Anmeldeplatz fortzusetzen. Außerdem war damals noch nicht bekannt, daß — wie die Auswertung des Erhebungsmaterials bald erkennen ließ — die durchschnittliche Wartezeit der in bestimmten Monaten erledigten Anträge

Tabelle 4

Der Unterschied zwischen durchschnittlicher und mittlerer Wartezeit für die Ortsnetzgröße C1-Land (201 bis 500 gebührenpflichtige Hauptanschlüsse)

	Durchschnittliche Wartezeit in Monaten	Gemittelt von Januar 65 bis . . .	Mittlere Wartezeit in Monaten
Januar 1965	9,5		
Februar	6,1	Februar	7,2
März	8,5	März	7,8
April	6,7	April	7,5
Mai	4,9	Mai	6,9
Juni	11,3	Juni	7,7
Juli	6,9	Juli	7,6
August	6,5	August	6,5
September	6,9	September	6,9
Oktober	7,4	Oktober	7,4
November	9,9	November	7,7
Dezember	8,2	Dezember	7,7
Januar 1966	5,4	Januar 1966	7,6
Februar	7,9	Februar	7,6
März	4,3	März	7,3

kräftig saisonal beeinflußt ist. Eine nur in bestimmten Monaten oder in einem bestimmten Mehrmonatszeitabschnitt durchgeführte Untersuchung der erledigten Anträge läßt also — streng begrifflich gesehen — nur auf die durchschnittliche Wartezeit der in diesen Monaten erledigten Anträge, nicht aber auf die mittlere Wartezeit schließen. Je mehr Monate man in die Untersuchung einbezieht, um so mehr verliert die daraus ermittelte durchschnittliche Wartezeit ihre saisonbeeinflußte Durchschnittseigenschaft und nähert sich der mittleren Wartezeit.

Das sei an einem Beispiel dargestellt:

Für die Ortsnetz-Größe C 1-Land (201 bis 500 gebührenpflichtige Hauptanschlüsse) ergaben sich Werte nach Tabelle 4.

Sieht man von dem Ausreißerergebnis im Juni ab, so ist durch die zufallsfehlerverzerrten Einzelergebnisse hindurch eine kräftige Saisonbewegung zu erkennen, die einem offenbar absteigenden Trend folgt. Die Saisonbewegung streut im Mittel um etwa ± 2 Monate (also um etwa ± 30 %) um den Trend. Eine in den ersten 4 oder 5 Monaten des Jahres durchgeführte Erhebung würde eine zu niedrige mittlere Wartezeit, eine in den Herbstmonaten durchgeführte Erhebung eine zu hohe mittlere Wartezeit liefern. In Bild 21 sind die charakteristischen Saisonbewegungen der durchschnittlichen Wartezeit monatlich erledigter Anträge und die Trends (= mittlere Wartezeit) für einige Ortsnetzgrößen eingezeichnet. (Saisonbewegungen und Trends wurden wegen der verhältnismäßig wenigen, aber stark streuenden Werte nicht berechnet, sondern nach dem Augenmaß eingezeichnet.)

2. Die Saisonabhängigkeit der mittleren Wartezeit

Die für die Ortsnetz-Größe C 1-Land gefundene Saisonbewegung trifft in ihrer Art für fast alle übrigen Ortsnetz-Größen zu. Die aus den Monats-Erhebungsergebnissen kumulierten Mehrmonats-Ergebnisse gelten jeweils für die Mitte des beobachteten Zeitabschnittes und streuen nach einer ausreichenden Länge des Beobachtungs-Zeitabschnittes nur noch geringfügig um den Trend, d. h. um die mittlere Wartezeit.

Die typische Saisonbewegung ist durchaus verständlich, wenn man bedenkt, daß — durch die Bausaison bedingt — meistens erst in der zweiten Jahreshälfte größere Bauvorhaben abgeschlossen werden und eine größere Anzahl länger lagernder Anträge erledigt werden kann.

Ob diese Saisonbewegung nur für das Jahr 1965 zutraf, kann leicht geprüft werden, indem man nach der Theorie der mittleren Verweildauer über $d_a = B_\varnothing/a$ und $d_{az} = 2B_\varnothing/(a+z)$ monatliche mittlere Wartezeiten (eigentlich Durchschnitts-Wartezeiten) über mehrere Jahre hinweg berechnet, sie trendbereinigt und mittelt.

Aus der Streuung der für jeden bestimmten Monat gewonnenen Werte um ihren Mittelwert können dann noch die Varianzen, Standardabweichungen und Vertrauensbereiche der Saison-Normalpunkte und damit der gesamten Saisonnormalen ermittelt werden. In Bild 22 ist diese Saisonbewegung, über die Ortsnetzgrößen gemittelt, mit ihrem Vertrauensbereich dargestellt. Sie ähnelt sehr den im Jahre 1965 aus

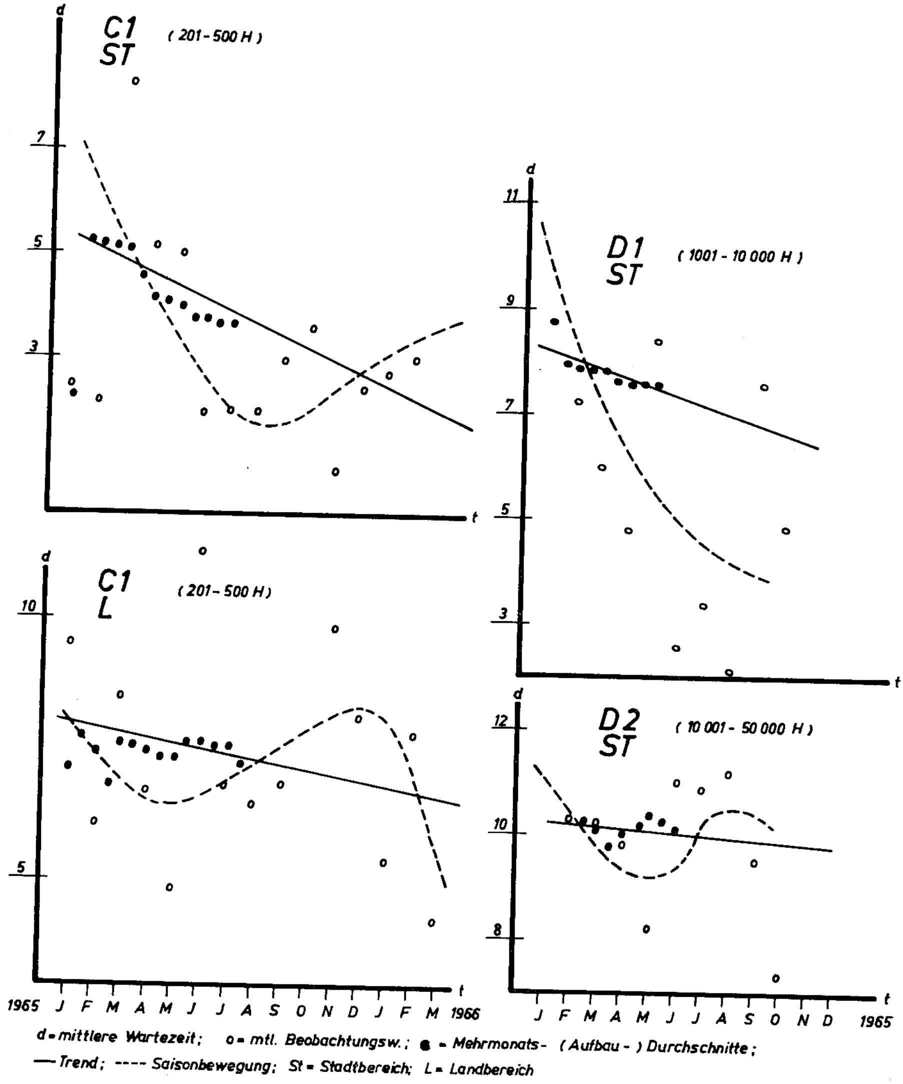


Bild 21. Trends und Saisonbewegungen der mittleren Wartezeiten für verschiedene Ortsnetz-Größen-Klassen

dem Stichprobenmaterial gewonnenen Saisonbewegungen. Der verhältnismäßig große Vertrauensbereich scheint zunächst darauf hinzuweisen, daß die Saisonbewegung von Jahr zu Jahr nicht sehr stabil ist; der relativ breite Saisonkorridor kann aber auch eine Folge der Zeitreihenstörungen der letzten Jahre sein. Einige Maxima, wie das im Dezember, dürften mit den verhältnismäßig vielen arbeitsfreien Tagen bestimmter Monate zu erklären sein, an denen keine Anschlüsse eingerichtet werden. Ähnlich ist die kleine Spitze im April (Osterfest) zu erklären. In Bild 23

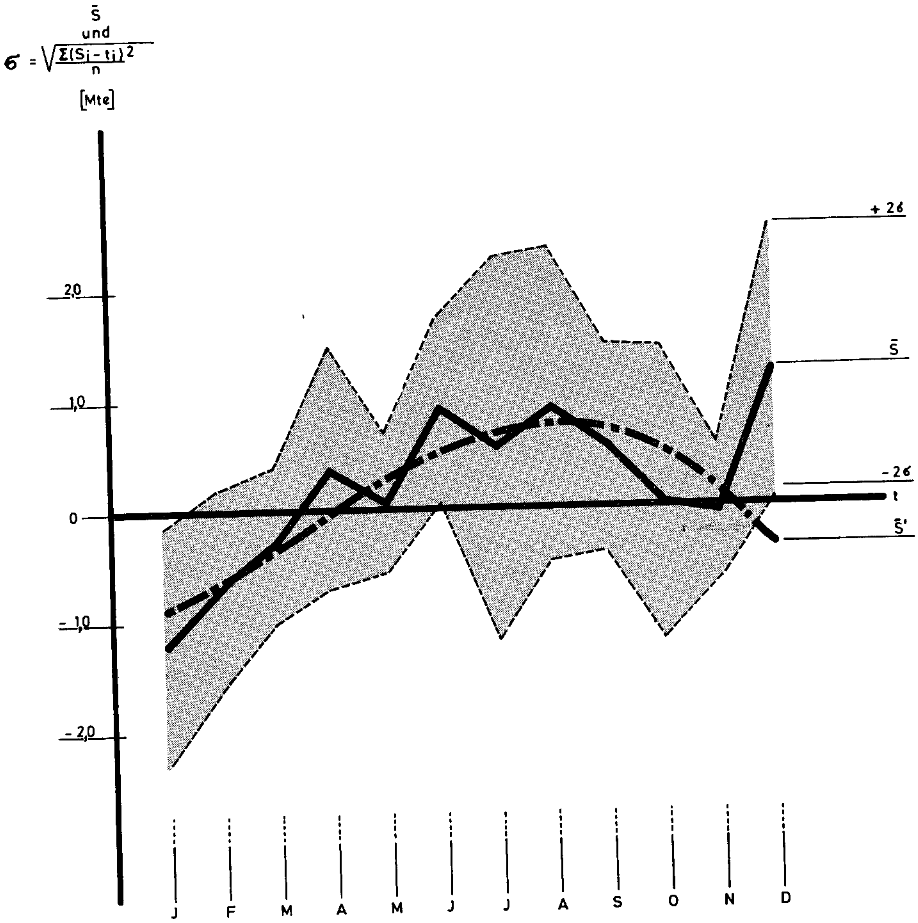


Bild 22. Die typische Saisonbewegung (= Saisonnormale) der mittleren Wartezeit

t = Trend

$\bar{S}$ = Saisonnormale

$\bar{S}'$ = Saisonnormale (kalenderbereinigt)

σ = Standardabweichung

wurde daher noch versucht, eine sogenannte kalenderbereinigte Saisonbewegung darzustellen. Man kann annehmen, daß diese grobe Saisonbewegung im Bereich der Deutschen Bundespost für längere Zeit allgemeingültig ist.

3. Die Häufigkeitsverteilung der Wartezeiten der erledigten Anträge

Die Häufigkeitsverteilung der Wartezeiten erledigter Anträge ist erwartungsgemäß vergleichbar mit der Häufigkeitsverteilung der Lagerzeiten unerledigter Anträge. Sie verläuft ebenfalls negativ-exponentiell (nach der allgemeinen Funktion $h = a \cdot b^t$) und ist infolge der Gebührenerhöhung im Jahre 1964 gestört.

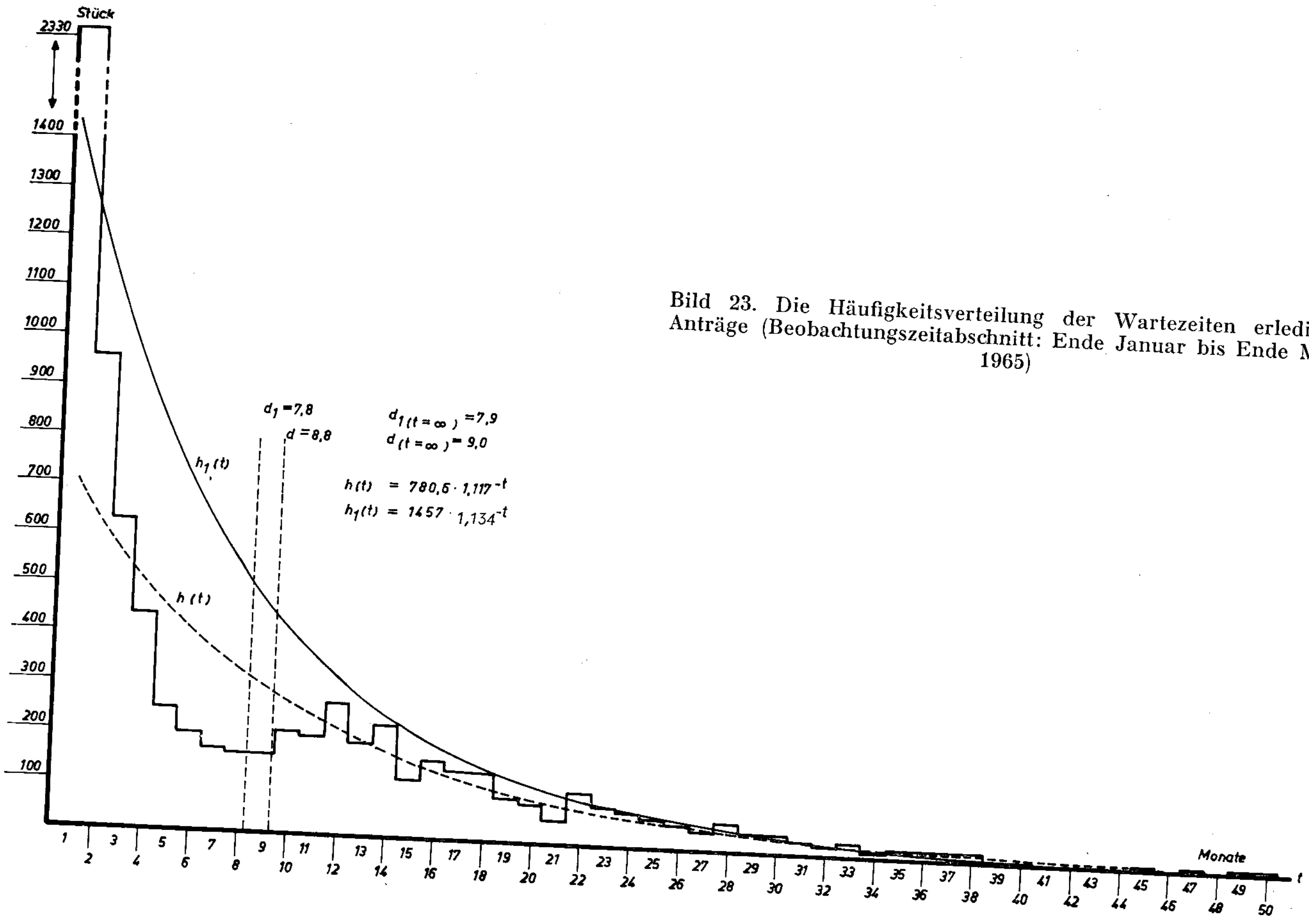


Bild 23. Die Häufigkeitsverteilung der Wartezeiten erledigter Anträge (Beobachtungszeitabschnitt: Ende Januar bis Ende März 1965)

Von Ende Januar bis Ende März 1965 waren alle stichprobenmäßig ausgewählten Ortsnetze an der Erhebung beteiligt. Für diesen Zeitabschnitt kann also die Häufigkeitsverteilung dargestellt werden (Bild 23). Sie unterliegt denselben Gesetzmäßigkeiten wie die Häufigkeitsverteilung der Lagerzeiten unerledigter Anträge. Danach ist

$$d = \frac{\frac{1}{\ln b} - \left(t + \frac{1}{\ln b}\right) b^{-t}}{1 - b^{-t}}$$

oder — nach Integration von t = 0 bis t = ∞ —

$$d = \frac{1}{\ln b}.$$

Für die Erhebung der erledigten Anträge waren keine Mehrmonats-Zeitklassen und auch keine offene Randklasse vorgesehen. Das wirkt sich bei der Auswertung des Erhebungsmaterials sehr vorteilhaft aus. Die Integration der Mengen- und Zeitmengenfunktion bis $t = \infty$ bringt nur um wenige Zehntelmonate höhere mittlere Wartezeiten als die Integration nur bis $t = 50$ (Monate).

Berücksichtigt man die Störung der Häufigkeitsverteilung in der Berechnung der Ausgleichskurve, so beträgt die mittlere Wartezeit bei Integration von $t = 0$ bis ∞ 9,0 Monate, bei Integration nur bis $t = 50$ 8,8 Monate. Berücksichtigt man die Störung nicht, so beträgt die mittlere Wartezeit 7,9 ($t = \infty$) bzw. 7,8 ($t = 50$). Berücksichtigt man weiter, daß in den Monaten Februar und März die mittlere Wartezeit (genau genommen die durchschnittliche Wartezeit) um rd. 20 % unter dem Trend liegt, so unterscheiden sich die über die Häufigkeitsverteilung der unerledigten Anträge und über die Häufigkeitsverteilung der erledigten Anträge gewonnenen mittleren Wartezeiten nur noch wenig. Wären also die Häufigkeitsverteilungen beider Untersuchungsgrundgesamtheiten über einen längeren Zeitabschnitt hinweg beobachtet und die Systemfehler beider Untersuchungen vermieden worden, so hätten beide Untersuchungen — abgesehen von den sehr kleinen Zufallsfehlern — zu nahezu dem gleichen Ergebnis, nämlich zu derselben mittleren Wartezeit geführt, wie sie das statische Modell der Theorie der mittleren Verweildauer — allerdings nur in gleitenden 12-Monats-Durchschnitten und daher in Zeiten von stärkeren Trendänderungen zeitlich verschoben — liefert.

Trotz der Mängel der Stichprobenuntersuchungen (z. T. zu kurze Beobachtungszeitabschnitte und daher Übergewicht der unter dem Trend liegenden durchschnittlichen Wartezeiten, z. T. zu lange Beobachtungszeitabschnitte und daher doppeltes Gewicht der unter dem Trend liegenden durchschnittlichen Wartezeiten) soll nun untersucht werden, ob es eine Abhängigkeit oder einen Zusammenhang zwischen mittlerer Wartezeit und Ortsnetz-Größen gibt und ob Unterschiede der mittleren Wartezeit in überwiegend ländlichen gegenüber überwiegend städtischen Ortsnetzen bestehen.

4. Die Abhängigkeit der mittleren Wartezeit von der Ortsnetzgröße und der Siedlungsstruktur

Für die Vergleiche von mittleren Wartezeiten in verschiedenen Ortsnetz-Größen sind ebenso wie für die Vergleiche der mittleren Wartezeiten in städtischen Gebieten mit denen in ländlichen Gebieten die absolut richtigen Größen der mittleren Wartezeiten nicht erforderlich. Sie müssen nur vergleichbar sein. Deshalb war es nicht nötig, für jede Ortsnetz-Größe die Häufigkeitsverteilung zu analysieren, die weitgehend zufallsfehlerfreie Ausgleichskurve zu berechnen und über deren Parameter die mittlere Wartezeit zu ermitteln. Es genügte, die jeweiligen Einzelwartezeiten zu addieren und durch die Zahl der vorgekommenen Fälle zu dividieren. Bild 24 zeigt die Ergebnisse. Wenn man einige offensichtliche Ausreißerergebnisse außer Betracht läßt, dann können die Punkte durch Kurven verbunden werden. Die aus den mittleren Lagerzeiten gewonnenen Kurven liegen fast parallel zu den aus den mittleren Wartezeiten gewonnenen Kurven. Das war zu erwarten. Die Kurven dürften also genügend aussagefähig sein. Aus ihnen können folgende Erkenntnisse gewonnen werden:

a) Die sehr kleinen Ortsnetze und die sehr großen Ortsnetze zeigen höhere mittlere Wartezeiten als die Ortsnetze mittlerer Größe (200 bis 10 000 gebührenpflichtige Hauptanschlüsse).

b) Zwischen den mittleren Wartezeiten in Ortsnetzen mit Stadtbereich und Ortsnetzen mit Landbereich ist kein signifikanter Unterschied feststellbar.

Diese Ergebnisse überraschen nicht. Es ist ohne weiteres einzusehen, daß eine vorhandene Nachfrage in den Bereichen der sehr kleinen Ortsnetze (Gebirge, Inseln, dünn besiedelte Landstriche und Siedlungsgebiete geringer Fernsprechdichte) und in den Bereichen der sehr großen Ortsnetze (dicht besiedelte Großstädte mit Grundstücks- und Gebäudemangel, schwierigen Erweiterungsmöglichkeiten des unterirdischen Leitungsnetzes usw.) wesentlich schwieriger befriedigt werden kann als in den übrigen Bereichen. Diese Umstände würden die mittleren Wartezeiten in den Bereichen sehr kleiner und sehr großer Ortsnetze im Verhältnis zu den mittleren Wartezeiten in den Bereichen der übrigen Ortsnetze noch weiter verschlechtern, wenn dem nicht durch entsprechende Steuerung der Fernmeldeinvestitionsmittel entgegengewirkt würde. Der relative Vergleich der mittleren Wartezeit für die verschiedenen Ortsnetzgrößen liefert somit auch wertvolle Erkenntnisse, um den Fernmeldenetzausbau überall so zu gestalten, daß bestimmte Gebiete strukturell nicht benachteiligt werden und daß die relativen Unterschiede in der mittleren Wartezeit von Ort zu Ort möglichst klein bleiben. Stellt man schließlich noch die Frage nach der weiteren Entwicklung der Wartezeiten in ausgewählten Ortsnetzgrößen relativ zueinander, so geht aus Bild 21 hervor, daß die Trends der mittleren Wartezeiten größtenteils fallen, wie dies auf Grund der inzwischen bekannten Gesamtentwicklung im Bundesgebiet seit dem Frühjahr 1965 (Bild 11 und 12) nicht anders zu erwarten war.

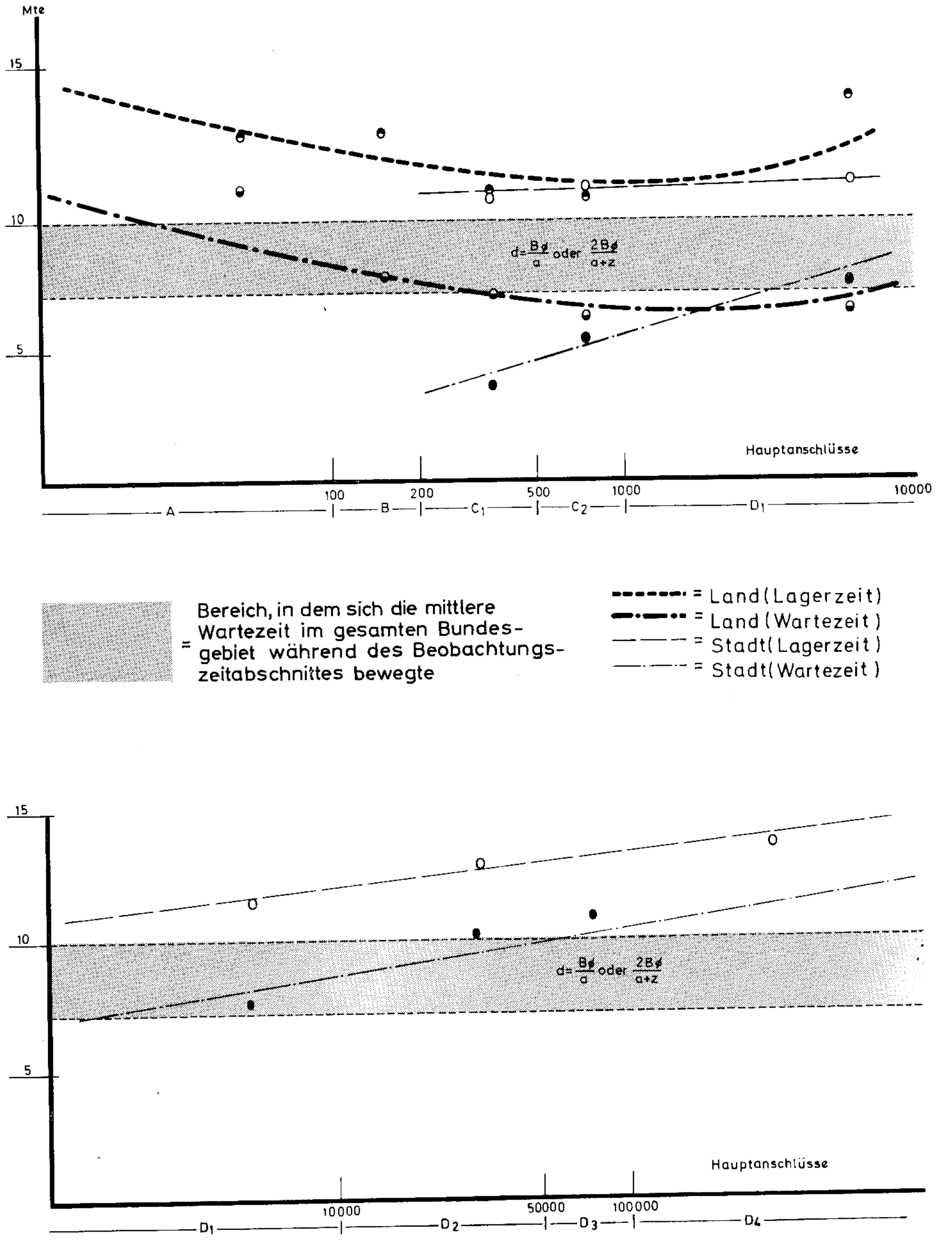


Bild 24. Die mittlere Lagerzeit unerledigter Anträge (Stand: Ende Januar 1965) und die mittlere Wartezeit erledigter Anträge (Beobachtungszeitabschnitt: Ende Januar 1965 bis Ende März 1966, teilweise nur bis Oktober 1965, für Ortsnetzgröße D 4 nur bis März 1965) im Verhältnis zur Ortsnetzgröße und unterschieden nach städtischen und ländlichen Bereichen

5. Der Anteil der Sofort-Anträge

So zweckmäßig es auch für Ziele der Unternehmensführung erscheinen mag, die mittlere Wartezeit als objektiven Maßstab für die Güte eines Fernmeldedienstes zu verwenden, so wenig sagt sie doch über die Chance aus, die der einzelne Antragsteller hat, einen Monat oder zwei Monate oder mehr warten zu müssen, bis sein Anschluß eingerichtet wird. Das Erhebungsmaterial der bereits erwähnten Stichprobenerhebungen vom Jahr 1965 soll unter diesem Blickwinkel beispielhaft untersucht werden.

Analysiert man das Erhebungsmaterial, das aus der Untersuchung der erledigten Anträge auf Einrichtung von Hauptanschlüssen gewonnen wurde, daraufhin, für wieviele Anträge im Antragsmonat und im Folgemonat Bauaufträge erteilt worden sind (das sind die in Abschnitt III. 3. A. als „sofort einrichtbar“ bezeichneten Anträge, im Folgenden „Sofort-Anträge“ genannt) und drückt man deren Zahl als %-Satz der Gesamt-Anträge aus, so kommt man zu den in Tabelle 5 zusammengestellten Werten.

Tabelle 5

Die Anteile der „Sofort-Anträge“ an den erledigten Anträgen für verschiedene Ortsnetzgrößen im Stadt(St)- und Land(L)-Bereich

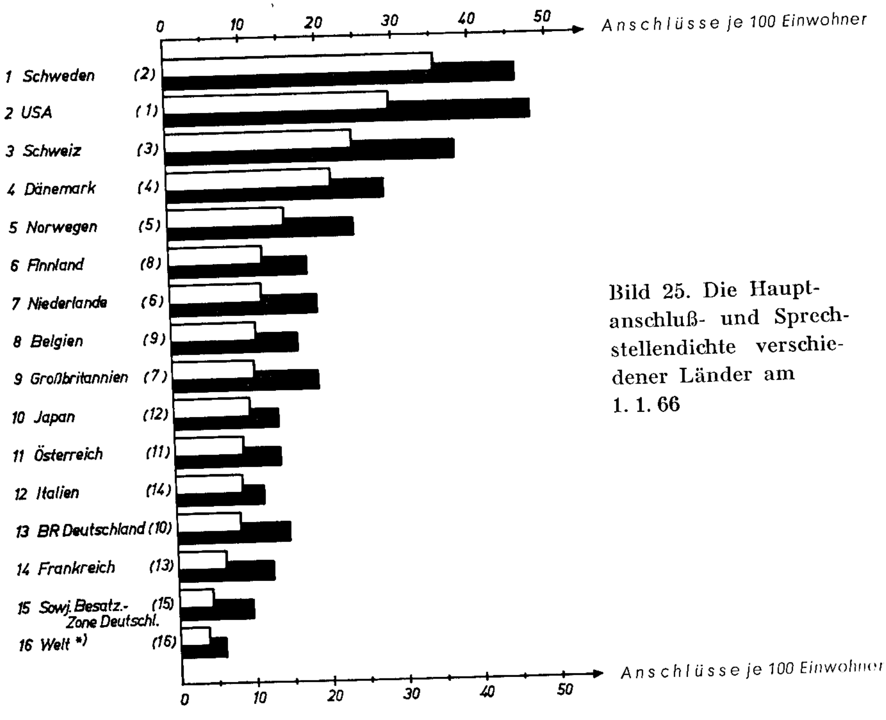
Ortsnetzgröße und Ortsnetzcharakter	Beobachtungs-Zeitabschnitt	Beobachtungsmenge (erledigte Anträge)	Anteil der Sofort-Anträge %
A L	Jan. 65 — März 66	474	38,4
B L	Jan. 65 — März 66	1445	48,2
C1 L	Jan. 65 — März 66	2490	46,1
C2 L	Jan. 65 — März 66	1442	48,2
D1 L	Jan. 65 — April 65	705	57,6
C1 St	Jan. 65 — Febr. 66	129	58,9
C2 St	Jan. 65 — März 66	949	60,5
D1 St	Jan. 65 — Okt. 65	2594	46,8
D2 St	Febr. 65 — Okt. 65	3019	37,9
D3 St	Febr. 65 — Okt. 65	5273	31,9
D4 St	Jan. 65 — März 65	1990	56,2
Zusammen			43,6

Diese Werte sind insofern noch zu ergänzen, als im Beobachtungszeitabschnitt der Anteil der Sofort-Anträge steigende Tendenz zeigte. Diese Tendenz hielt vermutlich bis heute (Frühjahr 1967) an, da die mittlere Wartezeit ständig zurückging, so daß der Anteil der Sofort-Anträge inzischen mit Sicherheit mehr als 50 % aller erledigten Anträge ausmacht.

VIII. Die mittlere Wartezeit im internationalen Vergleich

1. Überlegungen zur Ermittlung der mittleren Wartezeit für andere Länder

Wenn man sich über die künftige Entwicklung der mittleren Wartezeit Gedanken macht und überlegt, welcher Zahlenwert wohl angestrebt werden soll oder kann, ist es zweifellos von Nutzen, einen Blick auf die Verhältnisse in anderen Ländern zu werfen. Einem solchen Vergleich der mittleren Wartezeiten verschiedener Länder wird zweckmäßig zunächst eine möglichst neuzeitliche Übersicht vorangestellt, die Auskunft gibt über die Dichte des Fernsprechnetzes in den betreffenden Ländern (Bild 25). Wie international üblich, wurde diese Dichte als Zahl der Fernsprechanschlüsse pro hundert Einwohner definiert. Da sich die vorliegende Untersuchung auf Fernsprechhauptanschlüsse beschränkt, wurde die Reihenfolge der Länder in Bild 25 entsprechend der Größe der Hauptanschlußdichte festgelegt und der Vollständigkeit wegen zu dieser auch noch die Sprechstellendichte mit angegeben. (Die Ordnungsnummern in Klammern bezeichnen die Reihenfolge der Länder, wenn man diese nach der Größe der Sprechstellendichte ordnet.)



*) Hauptanschlüsse geschätzt

Bild 25. Die Hauptanschluß- und Sprechstellendichte verschiedener Länder am 1. 1. 66

Für eine Anzahl ausgewählter Länder aus Bild 25 wurde nun unter der Annahme, daß die Verteilung der Wartezeiten der betrachteten unerledigten Anträge im wesentlichen negativ exponentiell ist, die mittlere Wartezeit auf Einrichtung von Hauptanschlüssen in der Regel nach

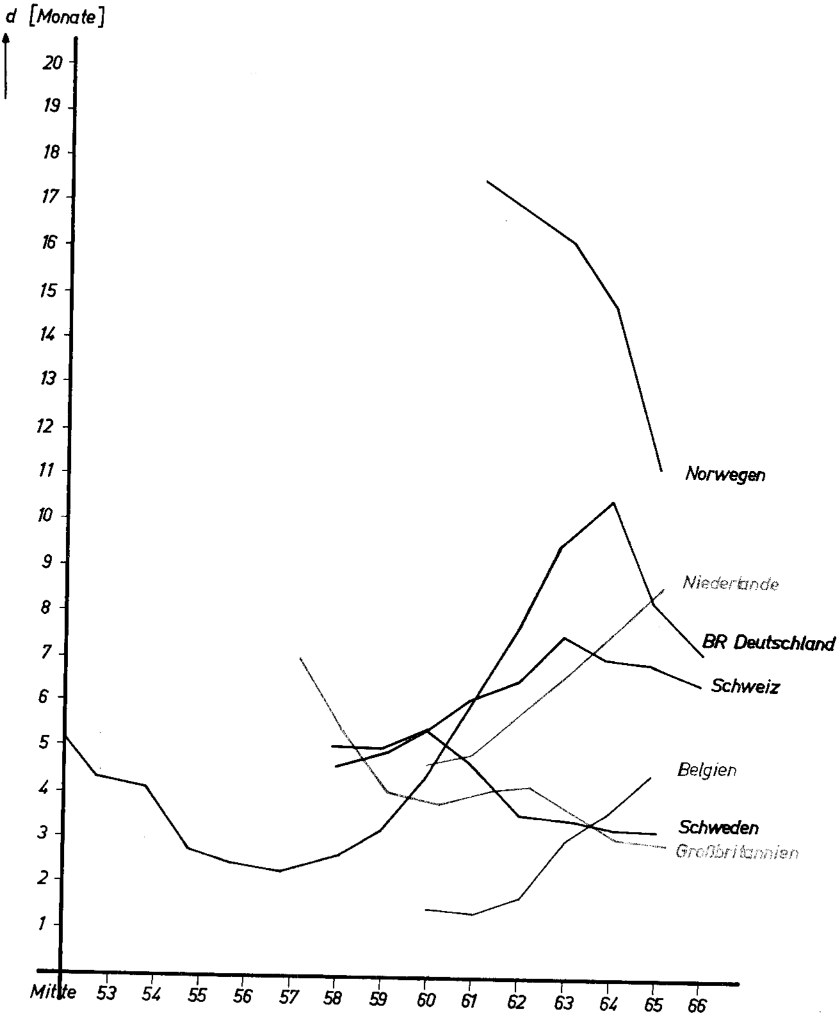


Bild 26. Die nach Absch. IV. 1. berechneten theoretischen mittleren Wartezeiten auf Einrichtung von Hauptanschlüssen einiger ausgewählter Länder

der Formel $d_a = B_\varnothing/a$ als Durchschnittswert für einen 12-Monats-Zeitabschnitt berechnet (für einige Fernmeldeverwaltungen deckt sich das Haushaltsjahr nicht mit dem Kalenderjahr) und in der Mitte des Bezugszeitabschnitts eingetragen (Bild 26). Die Formel $d_{az} = 2B_\varnothing/(a+z)$ wurde nur dann verwendet, wenn sich der Bestand der unerledigten Anträge um mehr als 30 % gegenüber dem Vorjahr verändert hatte, da eine solch starke Veränderung fast immer ein entsprechendes Auseinanderklaffen der Zahl der Neuanträge z und der der Neueinrichtungen a bedeutet.

Der Bestand der unerledigten Anträge umfaßte in der Regel, wie in der Untersuchung für das Fernmeldenetz der Deutschen Bundespost, keine Verlegungsanträge. In den Ländern, wo dies ungewiß ist bzw. wo die Verlegungsanträge nicht getrennt erfaßt werden (d. h. in der Zahl der Neuanträge enthalten sind), dürfte der Fehler der berechneten mittleren Wartezeit für neue Anträge, der aus einer möglichen Vorzugsbehandlung der Verlegungsanträge herrührt, kleiner als 10 % sein.

2. Diskussion der berechneten mittleren Wartezeiten anderer Länder

Die im Bild 26 dargestellte Entwicklung der mittleren Wartezeit auf Einrichtung von Hauptanschlüssen in den bezeichneten Ländern während der letzten Jahre kann im einzelnen nicht diskutiert werden, da die dafür benötigten Informationen über Änderungen des Gebührenniveaus oder der Gebührenstruktur, der Fernsprechbenutzungsbestimmungen, des Umfangs der Fernmeldeerweiterungsinvestitionen und sonstiger relevanter finanz- und wirtschaftspolitischer Faktoren nicht oder nicht in der erforderlichen Vollständigkeit zur Verfügung stehen. Außerdem soll an dieser Stelle nochmals hervorgehoben werden, daß es sich um unter bestimmten Voraussetzungen berechnete theoretische Zahlenwerte handelt, und es deshalb denkbar ist, daß die tatsächlichen Werte der mittleren Wartezeit infolge besonderer Umstände von den theoretisch berechneten abweichen. In Verbindung mit Bild 25 können jedoch einige Aufschlüsse über den Zusammenhang zwischen der absoluten Größe der mittleren Wartezeit und der jeweiligen Hauptanschlußdichte gewonnen werden. Das Hauptaugenmerk soll dabei auf die langfristigen Trends der mittleren Wartezeit gerichtet sein, wie man diese aus Bild 26 erkennen kann.

Zunächst kann festgestellt werden, daß die mittlere Wartezeit in Ländern mit geringerer Fernsprechdichte in der Regel größer ist als in solchen mit höherer Fernsprechdichte. Diese Regel gilt natürlich nicht ohne Ausnahme, wie der Fall Norwegen zeigt, der aber durch besondere geographische Verhältnisse bedingt sein mag. Während sich die Niederlande und Belgien z. Z. in einer Phase besonders starken Wachstums befinden, die fast immer durch eine mehr oder weniger starke zeitweise Erhöhung der mittleren Wartezeit gekennzeichnet ist, hatte die Schweiz infolge von Konjunkturdämpfungsmaßnahmen und den damit verbundenen Investitionsbeschränkungen vor einigen Jahren einen Anstieg der mittleren Wartezeit zu verzeichnen.

3. Die mittlere Wartezeit in den USA

In den USA gibt es z. Z. über 2300 unabhängige nichtstaatliche Telephongesellschaften. Rund 84 % aller vorhandenen Fernsprechanschlüsse der USA werden vom Bell-Telephone-System betrieben, einem Zusammenschluß von über 20 großen Telephongesellschaften unter der Dachgesellschaft der American Telephone and Telegraph Company. Wenn im Bereich des Bell-Telephone-Systems die mittlere Wartezeit auf Einrichtung von Hauptanschlüssen heute bei wenigen Tagen liegt (Bild 27), so nicht zuletzt wegen der dort üblichen, weil überwiegend oberirdischen Bauweise des Anschlußkabelnetzes, wie sie für das Fernmeldenetz der Deutschen Bundespost nicht gewünscht wird. (Übrigens gehen neuerdings auch in den USA allmählich immer mehr Gemeinden aus städtebaulichen Gesichtspunkten dazu über, für das Anschlußleitungsnetz künftig nur noch die unterirdische Bauweise zuzulassen.) Erwähnt werden soll jedoch in diesem Zusammenhang, daß es auch heute noch in den USA Staaten gibt, in denen infolge einer stürmischen Siedlungsentwicklung mittlere Wartezeiten von erheblich mehr als einem Monat auftreten (z. B. Florida, Kalifornien). Ein weiterer entscheidender Faktor für die inzwischen erreichte niedrige mittlere Wartezeit in den USA dürfte in der Tatsache zu sehen sein, daß die Mehrzahl der Fernsprechteilnehmer in der Hauptwachstumsphase des Fernsprechnetzes zunächst als Gemeinschafts- bzw. Mehrfach-Hauptanschlüsse (in Form von Zweier-, Vierer- oder Vielfach-Anschlüssen, vgl. Abschnitt II. 1.) angeschlossen wurden. Auch heute ist trotz einer inzwischen wesentlich größeren Hauptanschlußdichte ein beträchtlicher Teil aller Hauptanschlüsse immer noch als Gemeinschafts-Hauptanschlüsse angeschlossen (vgl. Tabelle 6).

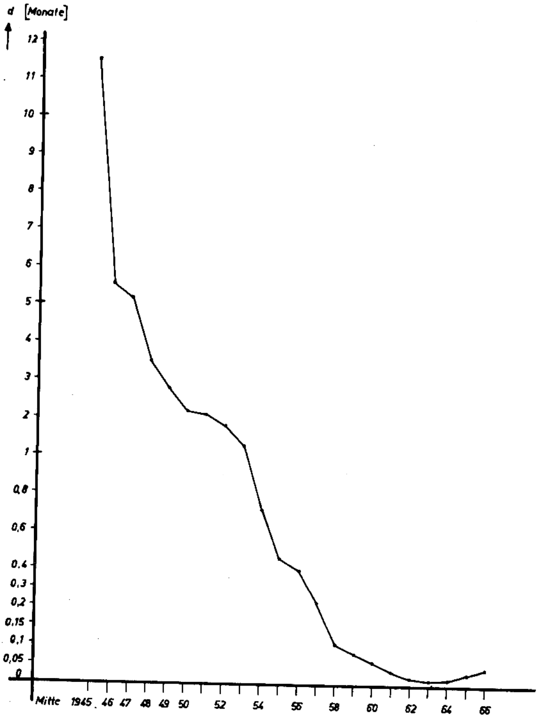


Bild 27. Der Verlauf der mittleren Wartezeit für das Bell-Telephone-System der USA von 1945 bis 1966

Im Bundesgebiet lag demgegenüber die Zahl der Gemeinschaftsanschlüsse Ende 1950 bei 2 %, Ende 1966 bei 18 %, wobei noch zu bemerken ist, daß im deutschen Fernmeldenetz der Verbreitung von Gemeinschaftsanschlüssen aus verwaltungstechnischen Gründen wesentlich engere Grenzen gezogen sind als in den USA. Die Möglichkeit der Mehrfachausnutzung der Anschlußleitungen wirkt sich wie die oberirdische Bauweise in der Regel dahin aus, daß beantragte Hauptanschlüsse als Gemeinschaftshauptanschlüsse nicht nur wesentlich billiger, sondern auch wesentlich schneller eingerichtet werden können als Einzelhauptanschlüsse. Mit den geschilderten Ursachen (höhere Fernsprechdichte, unabhängige Fernmeldegesellschaften, überwiegend oberirdische Bauweise des Anschlußkabelnetzes, zahlreiche Gemeinschaftshauptanschlüsse) findet die erwähnte niedrige mittlere Einrichtungswartezeit in den

Tabelle 6

Prozentuale Verteilung der im Bell-Telephone-System zusammengeschlossenen Wohnungsanschlüsse auf Einzel-, Zweier-, Vierer- und Vielfach-Anschlüsse von Ende 1945 bis Ende 1965

%-Verteilung der Wohnungshauptanschlüsse auf	Ende 1945	Ende 1950	Ende 1955	Ende 1960	Ende 1965
Einzelanschlüsse	29,28	24,43	37,63	57,00	73,17
Zweieranschlüsse	44.01	39,65	35,16	29,16	19,74
Viereranschlüsse	21.26	28,76	20,42	8,38	3,01
Vielfachanschlüsse	5,46	7,16	6,79	5,46	4,08
Mehrfachanschlüsse	70,72	75,57	62,37	43,00	26,83

USA im Vergleich zu den nennenswert höheren niedrigsten europäischen Werten großteils ihre Erklärung. Daß es jedoch in früheren Jahren, als die Fernsprechdichte in den USA noch nicht so hoch war wie heute (vgl. Bild 25) und das Fernmeldenetz wegen stärkerer Nachfrage ähnlich schnell wachsen mußte wie z. Z. in vielen Ländern Europas, auch dort während mehrerer Jahre beträchtliche Wartezeiten bei der Einrichtung der Hauptanschlüsse gab, zeigt der Verlauf der mittleren Wartezeit für das Bell-Telephone-System von 1945 bis 1966 (Bild 27).

Es trifft also weder heute zu noch galt es früher — wie immer wieder verallgemeinernd berichtet wird — daß alle neubeantragten Hauptanschlüsse in den USA innerhalb weniger Tage eingerichtet werden. Andererseits wird auch bei mittleren Wartezeiten von einigen Monaten in den ersten Wochen und Monaten eine beträchtliche Zahl von neubeantragten Hauptanschlüssen „sofort“ eingerichtet (vgl. Abschnitt VII. 5.).

IX. Gedanken über die in der näheren Zukunft für das Fernmeldenetz der Deutschen Bundespost anzustrebende mittlere Wartezeit

Bild 26 vermittelt darüber hinaus wertvolle Erkenntnisse über erzielte Minimalwerte der mittleren Wartezeit außerhalb Deutschlands, wobei von besonderem Interesse sein dürfte, daß sich unter den beiden Ländern mit der kleinsten Wartezeit Großbritannien (neben Schweden) befindet, ein Land, das sich auf dem Gebiet des Fernmeldewesens in jeder Beziehung gut mit Deutschland vergleichen läßt.

Die in Schweden und Großbritannien erreichte mittlere Wartezeit von ca. 3 Monaten (wie auch die in der Bundesrepublik während der Jahre 1955—1958 bereits erreichten Werte von unter 3 Monaten) dürfte für die Bundespost als deutsche Fernmeldeverwaltung die Frage nach der anzustrebenden mittleren Wartezeit heute dahingehend beantworten, daß eine mittlere Wartezeit von 3 Monaten ein vertretbarer Zielwert der nahen Zukunft sein könnte. Zumindest dürfte es ziemlich schwierig sein, für eine gemeinwirtschaftlich arbeitende Fernmeldeverwaltung wie die Deutsche Bundespost, die einerseits mit der Fernmeldehoheit und dem Fernmeldemonopol ausgestattet ist, andererseits der Bedienungspflicht unterliegt, einen anderen Maßstab für einen für alle Seiten annehmbaren Zielwert der mittleren Wartezeit zu finden als einen Vergleich mit Fernmeldeverwaltungen in möglichst ähnlicher Lage. Für den sinnvoll erreichbaren unteren Grenzwert der mittleren Wartezeit spielt außer der Organisationsform der zuständigen Betriebsgesellschaft (ob staatlich oder nichtstaatlich, gemeinwirtschaftlich oder privatwirtschaftlich arbeitend) die Bautechnik des Anschlußkabelnetzes, wie im Fall der USA bereits erwähnt, eine entscheidende Rolle.

Es liegt auf der Hand, daß ein überwiegend auf Freileitungsmasten oberirdisch geführtes Anschlußkabelnetz unter starker Mitbenutzung der Stützpunkte von Energieversorgungsunternehmen es gestattet, beantragte Hauptanschlüsse in einem wachsenden Fernmeldenetz nicht nur wesentlich billiger, sondern auch wesentlich schneller einzurichten als ein weitgehend verkabeltes unterirdisches Anschlußkabelnetz. Das Zeitmoment tritt noch mehr in den Vordergrund, wenn außerdem die Ausbauinvestitionsmittel und die personelle Kapazität begrenzt sind, bzw. im Vergleich zur Nachfrage unzureichend sind. Beides war im Laufe der letzten Jahre, wie die Zunahme der mittleren Wartezeit von 1958 bis 1963 zeigt, der Fall. Es besteht jedoch durchaus Anlaß zu der Hoffnung, daß es gelingt, die mittlere Wartezeit auf Einrichtung von Hauptanschlüssen mit zunehmender Dichte des Fernsprechnetzes in der Bundesrepublik (vgl. Bild 25) noch weiter zu verringern, um langfristig Werte von wenigen Wochen zu erreichen.

X. Ausblick

Wenn sich die jährliche Zunahme an neuen Fernsprechhauptanschlüssen wie bisher langfristig relativ auf der gleichen Höhe von rd. 9 % hält, woran unter normalen Verhältnissen nicht zu zweifeln ist, wie das Wachstum anderer Fernmeldenetze mit heute wesentlich höherer Fernsprechdichte zu Zeiten vergleichbaren Ausbauzustandes zeigt, und wenn zugleich die mittlere Wartezeit von knapp 7 Monaten (Ende 1966) in den nächsten Jahren wenigstens auf rd. 3 Monate reduziert werden soll, müssen die Erweiterungsinvestitionen auf dem Fernmeldesektor in den kommenden Jahren um ähnliche jährliche Raten gesteigert werden wie in den vergangenen Jahren. Neben planungs-, fertigungs- und ausbautechnischen Problemen wirft dies auch erhebliche Finanzierungsprobleme auf, auf die hier aber nicht eingegangen werden soll.

XI. Schrifttum

A. 1. R. F. Bogaerts: Die wahrscheinliche Entwicklung im Fernsprechwesen. Elektrisches Nachrichtenwesen, Band 38, Nr. 2.

2. W. Angrick: Über den Ausbau und die Struktur der Fernsprech-Ortsnetze bei der Deutschen Bundespost. Jahrbuch des elektrischen Fernmeldewesens 1962, 13. Jahrg.

3. H. Kellerer: Die Berechnung der mittleren Verweildauer, erläutert an betriebswirtschaftlichen Vorgängen. Zeitschrift für Handelswissenschaftliche Forschung, Jahrg. 10, 1958.

4. H. Schuhmann: Trendberechnungen in der Poststatistik. Zeitschrift für das Post- und Fernmeldewesen, Nr. 21, 1965.
5. A. Jipp: Berechenbare Größen in der Volks- und Verkehrswirtschaft. München, 1962.
6. G. Andersson, E. Johansson, T. Dalenius m. fl.: Efterfrågeanalys av Postverkets Trafikvolym. Göteborg, 1965.
7. J. Pfanzagl: Allgemeine Methodenlehre der Statistik. Göschen 746/746a, Berlin, 1964.

B. Ausländische Geschäftsberichte:

1. Frankreich: Réalisations et résultats financiers de l'année, PTT 1962—1965.
2. Großbritannien: Post-Office, Report and Accounts, 1954/55—1965/66.
3. Schweiz: Geschäftsbericht PTT, 1960—1965.
4. Schweden: Annual Report, Telecommunication in Sweden, 1960/61—1964/65.
5. Japan: Annual Report, Nippon Telegraph and Telephone Public Corporation, 1953—1965.
6. Niederlande: Jaarverslag PTT, 1960—1965.
7. USA: Annual Report, American Telephone and Telegraph Company, 1960—1965.

C. Sonstige Literatur und statistische Unterlagen:

Geschäftsberichte der DBP, 1950—1966.
Statistiken für das Fernsprechwesen der DBP, 1948—1966.
Zahlenspiegel der DBP 1871—1945, 1946—1959.
Statistik der schweizerischen Post-, Telephon- u. Telegraphenbetriebe, 1950—1965.
Post Office Telecommunications Journal, 1959—1966.
Revue des Postes et Télécommunications de France, 1949—1965.
Postes et Télécommunications (Bulletin d'Information des PTT), 1958—1965.
The World's Telephones, ATT, New York, 1950—1966.
General Telephone Statistics (Statistique Générale de la Téléphonie), ITU (UIT), Genf, 1950—1966.

Anhang I

Die mittlere Wartezeit auf Einrichtung von Fernsprechhauptanschlüssen nach der Theorie der mittleren Verweildauer

Der Bestand an unerledigten Anträgen auf Einrichtung von Fernsprechhauptanschlüssen B kann als Lagerbestand angesehen werden. Weiterhin ist er als offene Bestandsmasse anzusehen, weil er ständig durch neue Anträge ergänzt und durch erledigte Anträge abgebaut wird, dessen Größe sich also von Beobachtungszeitpunkt (= t′) zu Beobachtungszeitpunkt (= t″) ändert oder konstant bleibt. Um die Zusammenhänge zwischen dem Bestand an unerledigten Anträgen, dem Zugang von neuen Anträgen, dem Abgang an Anträgen (= Erledigungen = Neueinrichtungen) und der mittleren Wartezeit (= mittlere Verweildauer) zu erläutern, wurde ein Modellfall des Bestandes an unerledigten Anträgen geschaffen (Bild 28). Die Ableitung der Gesetzmäßigkeiten erfolgt nach J. Pfanzagl [7]. Bild 28 zeigt in der Becker'schen Darstellung die Wartezeiten von 170 erledigten Anträgen, die als Stichprobe aus einer großen Stichprobe zufällig ausgewählt wurden. Auf der Zeitachse drücken 5 Striche 1 Monat oder 1 Strich 0,2 Monate aus. Der untere Teil der Darstellung zeigt den Bestand an unerledigten Anträgen als Funktion der Zeit (= Bestandsfunktion).

Der i. Antrag kommt im Zeitpunkt t_i' hinzu und geht im Zeitpunkt t_i''ab. Seine Wartezeit ist $d_i = t_i'' - t_i'$. Die Summen der Wartezeiten

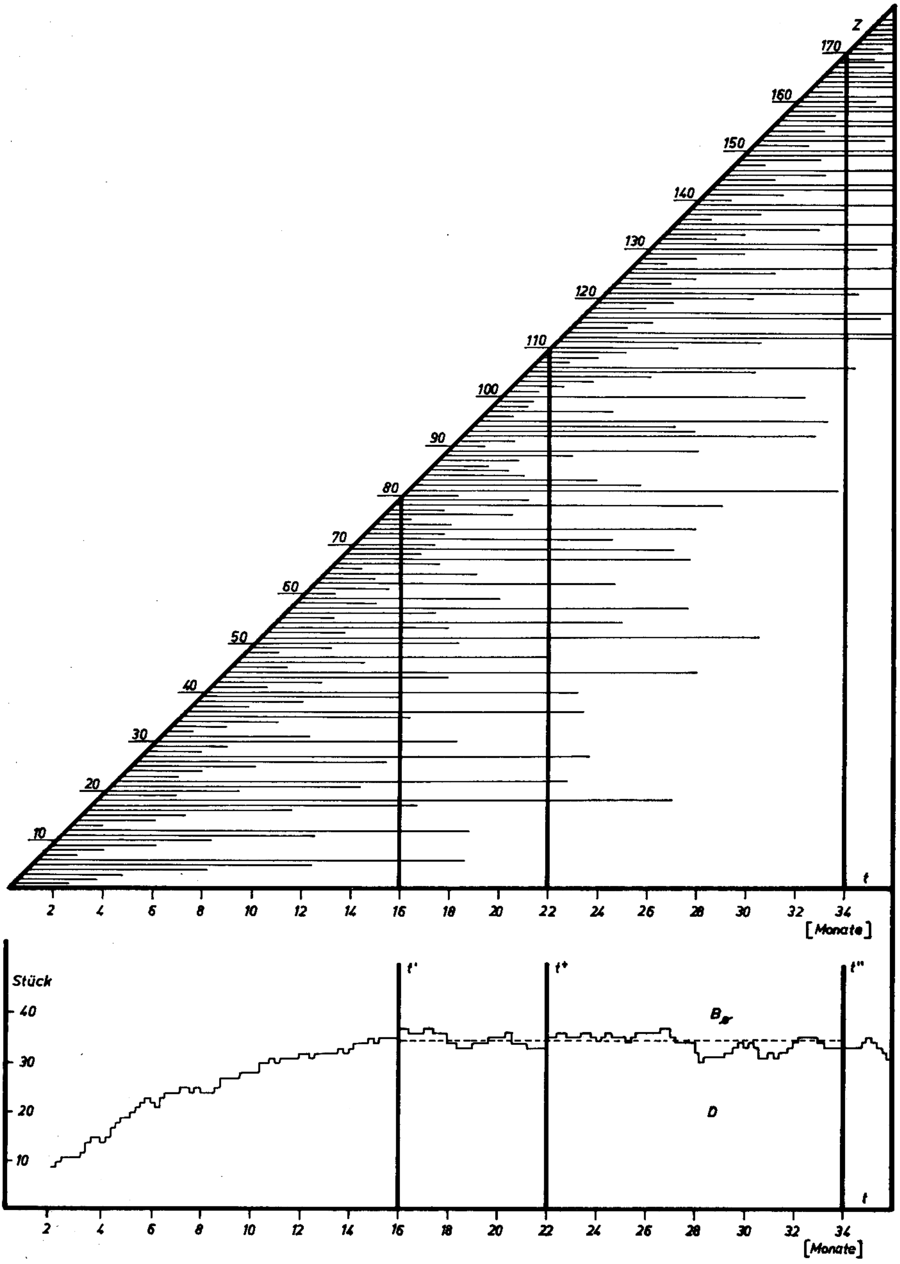


Bild 28. Modellverteilung eines Bestandes unerledigter Anträge auf Einrichtung von Hauptanschlüssen in der Beckerschen Darstellung
$B_{\varnothing}$ = Durchschnittsbestand; D = Zeitmengenbestand; Z = Neuanträge

aller Anträge in einem bestimmten Zeitabschnitt nennt man Zeitmengenbestand. Der Zeitmengenbestand D im Abschnitt t′ bis t″ ist

$$D = \sum_{i=t'}^{t''} d_i \, .$$

Er kann aus der Bestandsfunktion errechnet werden. Geometrisch kann er veranschaulicht werden durch die von der Bestandsfunktion in einem gewissen Zeitabschnitt eingeschlossene Fläche.

Der Durchschnittsbestand $B_\varnothing$ in diesem Zeitabschnitt beträgt

$$B_\varnothing = \frac{D}{t'' - t'}$$

(gewogenes arithmetisches Mittel).

In der Praxis wird die Bestandsfunktion meist dadurch bestimmt, daß man von einem Anfangsbestand B_0 (zu einem beliebigen Zeitpunkt) ausgehend den Bestand B_t zu einem späteren Zeitpunkt t auf Grund der bis zum Zeitpunkt t eingegangenen Anträge (= Zugänge = Z_t) und erledigten Anträge (= Abgänge = A_t) durch Fortschreibung ermittelt:

$$B_t = B_0 + Z_t - A_t \, .$$

Im Beispiel des Bildes 28 sei t′ der Anfangszeitpunkt. Der Anfangsbestand (= B_0) beträgt in diesem Zeitpunkt 36 Anträge. Der Zugang (= Z_t) im Zeitabschnitt t′ bis t″ beträgt 90 Anträge, der Abgang im gleichen Zeitabschnitt (= A_t) 93 Anträge. Der Bestand an unerledigten Anträgen im Zeitpunkt t″ hat demnach eine Höhe von B_t'' = 33 unerledigten Anträgen.

Für die meisten Zwecke kann darauf verzichtet werden, die Bestandsfunktion B (t) kontinuierlich zu verfolgen. Man kann sich damit begnügen, den Bestand für einige zwischen t′ und t″ gelegene Zeitpunkte zu ermitteln und den Durchschnittsbestand auf Grund dieser Zwischenwerte zu schätzen.

Gegeben seien die Bestände B_0 (= Anfangsbestand), $B_1, B_2, \ldots B_{n-1}$ und B_n (= Endbestand) für gleich weit entfernte Zeitpunkte t_0 (= t′ = Anfangszeitpunkt), $t_1, t_2, \ldots t_{n-1}, t_n$ (= t″ = Endzeitpunkt). Der Abstand zwischen benachbarten Zeitpunkten t_i und t_{i+1} soll so kurz sein, daß die Bestandsfunktion zwischen diesen beiden Zeitpunkten annähernd geradlinig verläuft. Dann ist der Flächeninhalt zwischen t_i und t_{i+1} nach der Formel für den Flächeninhalt eines Trapezes annähernd

$$\frac{B_i + B_{i+1}}{2} \cdot (t_{i+1} - t_i) \, .$$

Infolge der Äquidistanz sind alle Differenzen $(t_{i+1} - t_i)$ untereinander gleich und somit gleich

$$\frac{t'' - t'}{n} \, .$$

Man erhält die ganze Fläche zwischen t′ und t″, indem man die Teilflächen von i = 0 bis i = n − 1 summiert. Den Durchschnittsbestand erhält man nach Division der Fläche durch die Länge des ganzen Zeitabschnittes $t'' - t'$. Der Durchschnittsbestand kann also auf Grund der gegebenen Bestände an unerledigten Anträgen durch Bildung des (chronologischen) Mittels geschätzt werden.

Im Falle einer geschlossenen Masse ist der Zeitmengenbestand

$$D = \sum_{1}^{B} d_i$$

(B = Zahl der unerledigten Anträge).

Er kann aus dem Durchschnittsbestand ermittelt werden:

$$\sum_{1}^{B} d_i = B_{\varnothing} \cdot (t'' - t') .$$

Die mittlere Wartezeit beträgt dann

$$d = \frac{B_{\varnothing} \cdot (t'' - t')}{B} .$$

Die unerledigten Anträge auf Einrichtung von Fernsprechhauptanschlüssen stellen aber eine offene Masse dar. Bei deren Beurteilung soll angenommen werden, daß die Häufigkeitsverteilung der Wartezeiten zeitlich unverändert bleibt. Dies ist in Zeiten ungestörter Entwicklung mindestens auf Monate, meistens sogar auf Jahre hinaus der Fall. Die Zahl der unerledigten Anträge verändert sich aber im Laufe der Zeit, von Monat zu Monat allerdings nur geringfügig. Um die mittlere Wartezeit berechnen zu können, muß wie folgt vorgegangen werden:

Der Zeitmengenbestand der innerhalb des Zeitraumes t', t^{+} zugegangenen Anträge wird dadurch ermittelt, daß man zu dem Zeitmengenbestand des Zeitabschnittes t', t^{+} den Zeitmengenbestand D'' hinzufügt, den die zum Zeitpunkt t^{+} existierenden Anträge noch vor sich haben, und den Zeitmengenbestand D' abzieht, den die im Zeitpunkt t' existierenden (also bereits vor dem Zeitpunkt t' zugegangenen) Anträge noch vor sich haben.

Den Zeitmengenbestand des Zeitabschnittes t', t^{+} selbst ermittelt man mit Hilfe des Durchschnittsbestandes als $B_{\varnothing} (t'' - t')$, so daß man schließlich für den Zeitmengenbestand der zwischen t' und t^{+} zugegangenen Anträge folgendes Ergebnis erhält

$$B_{\varnothing} (t^{+} - t') + D'' - D' .$$

Bei der Ermittlung von D' und D'' nimmt man üblicherweise an, daß die zum Zeitpunkt t' bzw. t^{+} existierenden Anträge im Durchschnitt die Hälfte ihrer Wartezeit hinter, die Hälfte noch vor sich haben.

Bezeichnet man den Bestand an unerledigten Anträgen zum Zeitpunkt t' mit B', so gilt:

$$D' = B' \frac{d}{2} .$$

Analog gilt

$$D'' = B'' \frac{d}{2},$$

wobei B'' der Bestand zum Zeitpunkt t^+ ist.

Man erhält so für den Zeitmengenbestand der zwischen t' und t^+ zugegangenen Anträge:

$$B_{\varnothing} (t^+ - t') + B'' \frac{d}{2} - B' \frac{d}{2} = B_{\varnothing} (t^+ - t') + (Z - A) \frac{d}{2},$$

da $B'' - B' = Z - A$, wenn Z die Anzahl der Zugänge an Anträgen, A die Anzahl der Abgänge an Anträgen (= Einrichtungen) zwischen t' und t^+ darstellt.

Aus diesem Zeitmengenbestand, der gleich der Summe der Wartezeiten aller im Zeitabschnitt t', t^+ zugegangenen Anträge ist, erhält man die mittlere Wartezeit d, indem man durch deren Anzahl (= Z) dividiert:

$$d = \frac{B_{\varnothing} (t^+ - t') + (Z - A) \frac{d}{2}}{Z}.$$

d befindet sich auf beiden Seiten der Gleichung. Durch Umformen ergibt sich:

$$d = \frac{2 B_{\varnothing} (t^+ - t')}{A + Z},$$

t^+, das nur zur Vergleichbarkeit mit Bild 28 eingeführt wurde, kann nun wieder durch t'' ersetzt werden. Dann berechnet sich die mittlere Wartezeit nach

$$d = \frac{2 B_{\varnothing} t'' - t')}{A + Z}.$$

Führt man noch die Symbole

$$a = \frac{t'' - t'}{A} \qquad \text{Abgang je Zeiteinheit}$$

und

$$z = \frac{Z}{t'' - t'} \qquad \text{Zugang je Zeiteinheit}$$

ein, so erhält man

$$d = \frac{2 B_{\varnothing}}{a + z}.$$

Das war zu beweisen.

Wie bereits ausgeführt, gilt diese Berechnungsart für den Fall, daß die zu einem gewissen Zeitpunkt vorliegenden Anträge im Durchschnitt die Hälfte ihrer Wartezeit hinter, die Hälfte noch vor sich haben. Nach Pfanzagl [7] (a. a. O., S. 105/106) kann dagegen eingewandt werden, „daß die zu einem bestimmten Zeitpunkt existierenden Einheiten eine einseitige Auslese bilden, in der Einheiten mit langer Verweildauer überproportional, Einheiten mit kurzer Verweildauer unterproportional vertreten sind. Dementsprechend wird die Verweildauer, die die zu einem bestimmten Zeitpunkt existierenden Einheiten noch vor sich haben, im allgemeinen größer als d/2 sein.

Das genaue Ausmaß der Verzerrung hängt von der speziellen Form der Verteilung der Verweildauern ab. Bei exponentieller Verteilung beispielsweise, die bei der Verweildauer oft gut der Wirklichkeit entspricht, ist die Verweildauer, die eine zu einem bestimmten Zeitpunkt existierende Einheit im Durchschnitt noch vor sich hat, von ihrem Alter unabhängig, also gleich d. Wir bezeichnen die Verweildauer, die eine zu einem bestimmten Zeitpunkt existierende Einheit im Durchschnitt noch vor sich hat, mit ϑ d. Aus dem oben Gesagten geht hervor, daß ϑ ein von der Form der Verteilung abhängiger Wert ist, der im allgemeinen zwischen ½ und 1 liegen wird. Mit dieser Annahme erhalten wir für den Zeitmengenbestand der zwischen t′ und t″ zugegangenen Einheiten:

$$B_0 (t'' - t') + (Z - A) \cdot \vartheta \cdot d$$

$$d = \frac{B_0 (t'' - t') + (Z - A) \cdot \vartheta \cdot d}{Z}$$

und

$$d = \frac{B_\varnothing}{\vartheta a + (1 - \vartheta) z}.$$

Liegt ϑ zwischen ½ und 1, so liegt die mittlere Verweildauer zwischen den Werten

$$\frac{2 B_\varnothing}{a+z} \quad \text{und} \quad \frac{B_\varnothing}{a}.$$

Ist der Anfangsbestand gleich dem Endbestand, so ist auch z = a und beide Formeln ergeben den gleichen Wert.“

Wie später noch gezeigt werden wird, sind die Wartezeiten der unerledigten Anträge in Zeiten stetiger Entwicklung exponentiell verteilt. Auch aus dem Beispiel des Bildes 28 kann unschwer die exponentielle Verteilung — sie folgt der Verteilungsfunktion $h = ab^{-t}$ — gewonnen und gezeichnet werden. Die mittlere Wartezeit im Beispielsfalle beträgt 5,6 Monate. Die im Zeitpunkt t′ vorliegenden Anträge haben im Durchschnitt noch eine Wartezeit von 5,6 Monaten, die im Zeitpunkt t^+ vorliegenden Anträge im Durchschnitt noch eine Wartezeit von 4,9 Monaten vor sich. d/2 hätte aber nur eine Größe von 2,8 Monaten. Daß die im Zeitpunkt t^+ vorliegenden Anträge nicht auch im Durchschnitt noch eine Wartezeit von 5,6 Monaten vor sich haben, hängt mit einer Störung der Häufigkeitsverteilung aufgrund einer Gebührenänderung zusammen.

Es bleibt also festzustellen, daß die mittlere Wartezeit in Zeiten ungestörter Entwicklung $B_\varnothing/a$ beträgt, in Zeiten nicht ungestörter Entwicklung zwischen $2B_\varnothing/(a + z)$ und $B_\varnothing/a$ liegt, aber auch dann näher bei $B_\varnothing/a$ zu suchen sein wird, da die Wartezeiten exponentiell verteilt sind und auch nach groben Störungen nie ihre grundsätzliche Verteilung ganz verlieren.

Aus Bild 28 kann man ermitteln, daß im beobachteten Falle die zu bestimmten Zeitpunkten vorliegenden Anträge im Durchschnitt eine ebenso lange Wartezeit hinter sich wie vor sich haben (z. B. im Zeitpunkt t_{16} je 5,6 Monate, im Zeitpunkt t_{18} 5,8 und 5,1 Monate, im Zeitpunkt t_{19} 5,9 und 5,4 Monate). Damit ist anschaulich gemacht, daß im Falle exponentieller Verteilung der Wartezeiten — soweit die Verteilung nicht gestört ist — in jedem Beobachtungszeitpunkt des Bestandes die durchschnittliche Wartezeit der Vergangenheit (= mittlere Lagerzeit 1) gleich der durchschnittlichen Wartezeit der Zukunft und gleich der mittleren Wartezeit ist.

Anhang II

Ableitung der (Soll-) Neueinrichtungsfunktion aus der Nachfragefunktion und der Funktion der mittleren Wartezeit

Bekannt ist die Nachfragefunktion

$$z(t) = z_0 + z_1 \log t$$

— hier approximiert durch

$$z(t) = z_0 + z_1 t \text{—},$$

und die Funktion der mittleren Wartezeit

$$d(t) = d_0 + d_1 t\,;$$

weiter sind bekannt die Beziehungen

$$B(t) = B_0 + \int z(t)\,dt - \int a(t)\,dt$$

(Bestandsfunktion der unerledigten Anträge) und

$$d(t) = \frac{B(t)}{a(t)}.$$

Nach Umformung dieser Gleichung und nach Differentiation der Bestandsfunktion erhält man

$$a(t) = \frac{B(t)}{d(t)}$$

$$B'(t) = z(t) - \frac{B(t)}{d(t)}$$

$$B'(t) + B(t)\frac{1}{d(t)} = z(t)\,,$$

eine inhomogene lineare Differentialgleichung erster Ordnung.

Als Lösung bekommt man

$$B(t) = \left\{\int z(t)\,e^{\int \frac{dt}{d(t)}}\,dt + C_0\right\} e^{\int \frac{dt}{d(t)}}$$

und

$$a(t) = \left\{ \int z(t)\, e^{\int \frac{dt}{d(t)}}\, dt + C_0 \right\} \frac{e^{-\int \frac{dt}{d(t)}}}{d(t)}$$

(Lösungsmethode: Variation der Konstanten).

Nun müssen die einzelnen Integrale der Gleichung gelöst werden:

$$J_1 = \int \frac{dt}{d(t)} = \int \frac{dt}{(d_0 + d_1 t)} \qquad (\text{da } d(t) = d_0 + d_1 \cdot t)$$

(Substitution $\cdot\ d_0 + d_1 \cdot t = y\ ;\ d_1 \cdot dt = dy$)

$$J_1 = \frac{1}{d_1} \int \frac{dy}{y} = \frac{1}{d_1} \ln y = \frac{1}{d_1} \ln (d_0 + d_1 t)$$

$$= \frac{1}{d_1} 2{,}3026 \log (d_0 + d_1 t)$$

$$\text{für } d_0 + d_1 t > 0$$

(Die Größe 0 wird die mittlere Wartezeit nie erreichen).

Folgendes Zahlenbeispiel vermittelt, daß im vorliegenden Falle $t <$ rd. 70,4 sein muß:

$d_0 = 13{,}5016;\ d_1 = -\,0{,}1917;$

$d_0 + d_1 t = 13{,}5016 - 0{,}1917\, t > 0$

$13{,}5016 > 0{,}1917\, t$

$$t < \frac{13{,}5016}{0{,}1917} \approx 70{,}4$$

$$e^{J_1} = e^{\frac{1}{d_1} \ln (d_0 + d_1 t)} = \left(e^{\ln (d_0 + d_1 t)}\right)^{\frac{1}{d_1}}$$

$$= (d_0 + d_1 t)^{\frac{1}{d_1}}$$

$$e^{-J_1} = (d_0 + d_1 t)^{-\frac{1}{d_1}} = \frac{1}{(d_0 + d_1 t)^{\frac{1}{d_1}}}$$

$$J_2 = \int z(t)\, e^{\int \frac{dt}{d(t)}}\, dt = \int z(t)\, e^{J_1}\, dt = \int z(t) (d_0 + d_1 t)^{\frac{1}{d_1}}\, dt$$

$$z(t) = z_0 + z_1 t$$

$$J_2 = \int (z_0 + z_1 t)(d_0 + d_1 t)^{\frac{1}{dt}}\, dt$$

$$J_2 = z_0 \int (d_0 + d_1 t)^{\frac{1}{d_1}}\, dt + z_1 \int t (d_0 + d_1 t)^{\frac{1}{d_1}}\, dt$$

$$= z_0 J_3 + z_1 J_4$$

$$J_3 = \int (d_0 + d_1 t)^{\frac{1}{d_1}} \, dt$$

(Subst. $d_0 + d_1 t = y$
$d_1 \, dt = dy$)

$$J_3 = \frac{1}{d_1} \int y^{\frac{1}{d_1}} \, dt = \frac{1}{d_1} \frac{1}{\frac{1}{d_1} + 1} y^{\left(\frac{1}{d_1} + 1\right)}$$

$$= \frac{1}{d_1} \frac{d_1}{1 + d_1} y^{\left(\frac{1}{d_1} + 1\right)} = \frac{1}{1 + d_1} (d_0 + d_1 t)^{\left(\frac{1}{d_1} + 1\right)}$$

$$J_4 = \int t (d_0 + d_1 t)^{\frac{1}{d_1}} \, dt$$

$$= t \frac{(d_0 + d_1 t)^{\left(\frac{1}{d_1} + 1\right)}}{1 + d_1} - \frac{1}{1 + d_1} \int (d_0 + d_1 t)^{\left(\frac{1}{d_1} + 1\right)} \, dt$$

$$= t \frac{(d_0 + d_1 t)^{\left(\frac{1}{d_1} + 1\right)}}{1 + d_1} - \frac{1}{1 + d_1} \frac{(d_0 + d_1 t)^{\frac{1}{d_1} + 2}}{\frac{1}{d_1} + 2} \frac{1}{d_1}$$

$$= t \frac{(d_0 + d_1 t)^{\left(\frac{1}{d_1} + 1\right)}}{1 + d_1} - \frac{1}{1 + d_1} \frac{(d_0 + d_1 t)^{\frac{1}{d_1} + 2}}{1 + d_1}$$

$$J_2 = \frac{z_0}{1 + d_1} (d_0 + d_1 t)^{\left(\frac{1}{d_1} + 1\right)} + z_1 t \frac{(d_0 + d_1 t)^{\left(\frac{1}{d_1} + 1\right)}}{1 + d_1} -$$

$$- z_1 \frac{1}{1 + d_1} \frac{(d_0 + d_1 t)^{\frac{1}{d_1} + 2}}{1 + 2 d_1}$$

$$J_2 = \frac{1}{1 + d_1} (d_0 + d_1 t)^{\frac{1}{d_1} + 1} \left(z_0 + z_1 t - \frac{z_1 (d_0 + d_1 t)}{1 + 2 d_1} \right)$$

$$\frac{(d_0 + d_1 t)^{\frac{1}{d_1} + 1}}{1 + d_1} \left[z_0 + z_1 \left(t - \frac{d_0 + d_1 t}{1 + 2 d_1} \right) \right].$$

Nun kann eingesetzt werden:

$$B(t) = \frac{1}{(d_0 + d_1 t)^{\frac{1}{d_1}}} \left\{ \frac{(d_0 + d_1 t)^{\frac{1}{d_1}+1}}{1 + d_1} \left[z_0 + \right.\right.$$

$$\left.\left. + z_1 \left(t - \frac{d_0 + d_1 t}{1 + 2d_1} \right) \right] + C_0 \right\}$$

$$= \frac{d_0 + d_1 t}{1 + d_1} \left[z_0 + z_1 \left(t - \frac{d_0 + d_1 t}{1 + 2d_1} \right) \right] + \frac{C_0}{(d_0 + d_1 t)^{\frac{1}{d_1}}}$$

$$a(t) = \frac{1}{d_0 + d_1 t} B(t)$$

$$= \frac{1}{1 + d_1} \left[z_0 + z_1 \left(t - \frac{d_0 + d_1 t}{1 + 2d_1} \right) \right] + \frac{C_0}{(d_0 + d_1 t)^{\left(\frac{1}{d_1} + 1 \right)}}.$$

Nach entsprechender Umformung erhält man

$$a(t) = \frac{z_1}{1 + 2d_1} \left[\frac{\frac{z_0}{z_1}(1 + 2d_1) - d_0}{1 + d_1} + t \right] \frac{C_0}{(d_0 + d_1 t)^{\left(\frac{1}{d_1} + 1 \right)}}.$$

Nun muß noch die Integrationskonstante C_0 bestimmt werden.

Gegeben sei $a\ (t = t_0) = a_0$

$$a_0 = \frac{z_1}{1 + 2d_1} \left[\frac{\frac{z_0}{z_1}(1 + 2d_1) - d_0}{1 + d_1} + t_0 \right] + \frac{C_0}{(d_0 + d_1 t_0)^{(\frac{1}{d_1} + 1)}}$$

$$C_0 = (d_0 + d_1 t_0)^{(\frac{1}{d_1} + 1)} \left\{ a_0 - \frac{z_1}{1 + 2d_1} \left[\frac{\frac{z_0}{z_1}(1 + 2d_1) - d_0}{1 + d_1} + t_0 \right] \right\}.$$

Dann wird

$$a(t) = \frac{z_1}{1 + 2d_1} \left[\frac{\frac{z_0}{z_1}(1 + 2d_1) - d_0}{1 + d_1} + t \right] + \left\{ a_0 - \right.$$

$$\left. - \frac{z_1}{1 + 2d_1} \left[\frac{\frac{z_0}{z_1}(1 + 2d_1) - d_0}{1 + d_1} + t_0 \right] \right\} \left(\frac{d_0 + d_1 t_0}{d_0 + d_1 t} \right)^{(\frac{1}{d_1} + 1)}$$

oder nach Umformung

$$a(t) = \frac{z_1}{1 + 2d_1}\left[\frac{\frac{z_0}{z_1}(1 + 2d_1) - d_0}{1 + d_1} + t\right] +$$

$$+\left\{a_0 - \frac{z_1}{1 + 2d_1}\left[\frac{\frac{z_0}{z_1}(1 + 2d_1) - d_0}{1 + d_1} + \right.\right.$$

$$\left.\left. + t_0\right]\right\} e^{\left(\frac{1}{d_1} + 1\right) 2{,}3026 \log \left(\frac{\frac{d_0}{d_1} + t_0}{\frac{d_0}{d_1} + t}\right)} .$$